



Isadora Rabelo Guimarães

Efeito do método de ativação na resistência à flexão e no módulo de elasticidade de cimentos resinosos duais

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de Mestre em Materiais Dentários.

Orientador: Prof. Dr. Mario Fernando de Goes

Piracicaba
2011

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**
Bibliotecária: Elis Regina Alves dos Santos – CRB-8ª / 8099

G947e Guimarães, Isadora Rabelo.
 Efeito do método de ativação na resistência à flexão e no
 módulo de elasticidade de cimentos resinosos duais / Isadora
 Rabelo Guimarães. -- Piracicaba, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Mario Fernando de Goes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Compósitos. 2. Cimentos dentários. I. Goes, Mario Fernando
de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Odontologia de Piracicaba. III. Título.

(eras/fop)

Título em Inglês: Effect of activation mode on flexural strength and modulus of
elasticity of resin luting cements

Palavras-chave em Inglês (Keywords): 1. Composites. 2. Dental cements

Área de Concentração: Materiais Dentários

Titulação: Mestre em Materiais Dentários

Banca Examinadora: Mario Fernando de Goes, Carlos Eduardo Francci,
Vinícius Di Hipólito

Data da Defesa: 25-02-2011

Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de Mestrado, em sessão pública realizada em 25 de Fevereiro de 2011, considerou a candidata ISADORA RABELO GUIMARÃES aprovada.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. F. Goes", written over a horizontal line.

Prof. Dr. MARIO FERNANDO DE GOES

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Carlos Eduardo Francci", written over a horizontal line.

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO FRANCCI

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Vinicius Di Hipólito", written over a horizontal line.

Prof. Dr. VINICIUS DI HIPÓLITO

DEDICO ESTE TRABALHO

A **Deus**, pela sua presença em minha vida e por sua infinita bondade, sem a qual nada seria possível.

Aos meus pais, **José Agnaldo** e **Nádja**, pela compreensão, incentivo, confiança, amor e exemplo.

Aos meus irmãos **Irajá** e **Iara** que sempre estiveram presentes em todos os momentos da minha vida.

Ao **Daniel** por todo seu amor, carinho, dedicação e incentivo. Saiba que o sabor das conquistas e das pequenas vitórias diárias não seria o mesmo sem você ao meu lado.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao **Prof. Dr. Mario Fernando de Goes**, Titular da Área de Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, pela confiança, oportunidade e orientação deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do seu Diretor **Jacks Jorge Junior** e Diretor Associado **Alexandre Augusto Zaia**.

Ao **Prof. Dr. Mário Alexandre Coelho Sinhoreti**, Titular da Área de Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Universidade Estadual de Campinas.

À **Prof^a. Dr^a. Regina Maria Puppim Rontani**, Titular da Área Odontopediatria, Departamento de Odontologia Infantil, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas,

Ao **Prof. Dr. Simonides Consani**, Titular da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas.

Ao **Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho**, Titular da Área Materiais Dentários, Departamento de Odontologia Restauradora, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas.

Ao colega **Alberto Nogueira da Gama Antunes**, mestre em Materiais Dentários pelas orientações e pelos ensinamentos na área de microscopia eletrônica de varredura que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua companhia foi importante na minha adaptação à faculdade e na minha formação científica.

Aos professores da banca do exame de qualificação, **Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho**, **Prof. Dr. Marcelo Gianinni** e **Prof. Dr. Wilkens Aurélio Buarque e Silva**

Ao **Prof. Dr. Carlos Eduardo Sabrosa**, Adjunto da Área de Dentística Restauradora, da Faculdade de Odontologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aos funcionários do laboratório de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, **Marcos Blanco Cangiani** e **Selma Aparecida Barbosa Segalla**.

Ao centro de Microscopia Eletrônica de Varredura da FOP-UNICAMP e ao funcionário **Adriano L. Martins**.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento Profissional de Nível Superior (CAPES)**, pela bolsa concedida.

Aos colegas de mestrado **Ana Paula Piovezan Fugolin**, **Ariene Arcas Leme**, **Carlos da Cunha Oliveira Junior**, **César Alberto Pomacóndor Hernández**, **Giovana Spagnolo Albamonte de Araujo**, **Guilherme Bottene Guarda**, **Marcos Aurélio Bomfim da Silva**, **Ravana Angelini Sfalcin**, **Renata Bacelar Cantanhede de Sá**, **Roberta Galetti**, **Tatiany Gabrielle Freire Araujo** e **Victor Pinheiro Feitosa** e de doutorado **Adriana Oliveira Carvalho**, **Ailla Carla Rocha Acosta Lancellotti**, **Alberto Nogueira da Gama Antunes**, **Aloísio Oro Spazzin**, **Ana Rosa Costa**, **Andréia Bolzan de Paula**, **Cristina Godoy Sartori Azevedo**, **Gislaine Cristina Padovani**, **Ian Matos oliveira**, **Lucas Zago Naves**, **Luciano de Souza Gonçalves**, **Nadia Lunardi**, **Pilliana Mendes Candia Scaffa**, **Rafael Pinno Vitti** e **Rinaldo Mattar**.

Resumo

Este estudo avaliou o efeito do método de ativação na resistência à flexão e módulo de elasticidade de quatro cimentos de dupla cura à base de metacrilato. Dois cimentos resinosos auto-adesivos (Clearfil SA Cement (CSA) e RelyX U100 (U)) e dois cimentos convencionais (Clearfil Esthetic Cement (CE) e RelyX ARC (ARC)) foram usados para produzir um total de 45 amostras em forma de barra (7 mm de comprimento x 2 mm de largura x 2 mm de espessura) usando três diferentes modos de ativação ($n = 15$): fotoativação direta (D), fotoativação indireta com anteparo de resina composta 2 mm (I) e polimerização química (Q). O teste dos três pontos foi realizado após 24 horas de armazenamento em água deionizada a 37°C utilizando uma máquina universal de ensaio (Instron) a uma velocidade transversal de 0,5 mm / min até a fratura. Os valores de resistência à flexão (MPa) e módulo de elasticidade (GPa) foram submetidos aos testes ANOVA e Tukey ($\alpha = .05$). Os dados revelaram que os grupos ativados pela luz apresentaram valores estatisticamente maiores de resistência à flexão (CSA / D = $113,6 \pm 19,6$; CSA / I = $80,6 \pm 23,7$; U / D = $101,3 \pm 9,8$; U / I = $94,9 \pm 36,9$; CE / D = $219,0 \pm 39,9$; CE / I = $226,4 \pm 34,5$, ARC / D = $150,0 \pm 26,1$, ARC / I = $111,7 \pm 14,2$) e módulo de elasticidade (CSA / D = $2,9 \pm 0,6$; CSA / I = $1,5 \pm 0,4$; U / D = $2,9 \pm 0,5$; U / I = $2,6 \pm 1,4$; CE / D = $6,5 \pm 1,3$; CE / I = $5,8 \pm 1,0$; ARC / D = $4,2 \pm 0,9$; ARC / I = $2,5 \pm 0,5$) comparado aos grupos de polimerização química (CSA / Q = $65,8 \pm 21,8$; U / Q = $53,6 \pm 28,7$; CE / Q = $129,0 \pm 51,6$, ARC / Q = $77,9 \pm 19,6$) (CSA / Q = $1,4 \pm 0,5$; U / Q = $1,2 \pm 0,7$; CE / Q = $2,2 \pm 1,5$; ARC / Q = $1,0 \pm$

0,5). O uso do anteparo de resina composta atenuou a transmissão de luz para o ARC e CSA. Os cimentos resinosos convencionais apresentaram maiores valores de resistência à flexão em relação aos cimentos auto-adesivos. CE apresentou os maiores valores em relação a todos os outros cimentos analisados. Não houve diferença estatística entre os cimentos auto-adesivos. A fotoativação dos cimentos resinosos aumentou a resistência à flexão de todos os materiais avaliados. Comportamento mecânico semelhante foi observado entre os cimentos auto-adesivos.

Palavras-chave: Cimento resinoso dual, Cimento auto-adesivo, Método de ativação, Resistência à flexão, Módulo de elasticidade

Abstract

Aim: This study evaluated the effect of the activation mode on flexural strength of four dual cure resin-based cements. **Method:** Two self-adhesive resin cements (Clearfil SA Cement (CSA) and RelyX U100 (U)) and two conventional resin cements (Clearfil Esthetic Cement (CE) and RelyX ARC (ARC)) were used to produce a total of 45 bar specimens (7x2x2 mm) using three different activation modes (n=15): Direct light-cure (D), Indirect light-cure using a 2mm composite resin barrier (I) and Self-cure (S). Three-point bending tests were performed after 24 hours of storage at 37° C using a universal testing machine (Instron) at a cross-speed of 0.5 mm/min until fracture. Flexural strength (MPa) and modulus of elasticity (GPa) values were subjected to ANOVA and Tukey's Test ($\alpha=.05$). **Results:** Data revealed that groups activated by light presented statistically higher values for flexural strength (CSA/D=113.6 $\pm$ 19.6; CSA/I=80.6 $\pm$ 23.7; U/D=101.3 $\pm$ 9.8; U/I=94.9 $\pm$ 36.9; CE/D=219.0 $\pm$ 39.9; CE/I=226.4 $\pm$ 34.5; R/D=150.0 $\pm$ 26.1; R/I=111.7 $\pm$ 14.2) and modulus of elasticity (CSA/D = 2.9 $\pm$ 0.6; CSA/I = 1.5 $\pm$ 0.4; U/D = 2.9 $\pm$ 0.5; U/I = 2.6 $\pm$ 1.4; CE/D = 6.5 $\pm$ 1.3; CE/I = 5.8 $\pm$ 1.0; ARC/D = 4.2 $\pm$ 0.9; ARC/I = 2.5 $\pm$ 0.5) compared to self-cure groups (CSA/S=65.8 $\pm$ 21.8; U/S=53.6 $\pm$ 28.7; CE/S=129.0 $\pm$ 51.6; R/S=77.9 $\pm$ 19.6) (CSA/Q = 1.4 $\pm$ 0.5; U/Q = 1.2 $\pm$ 0.7; CE/Q = 2.2 $\pm$ 1.5; ARC/Q = 1.0 $\pm$ 0.5). The use of a composite resin barrier affected light transmission for R and CSA. Conventional resin luting cements presented the highest values for flexural strength compared to self-adhesive cements. CE presented the highest values compared to all other tested cements. No statistical difference was observed between self-adhesive cements.

Conclusion: Light-curing of resin luting cements increased flexural strength for all tested materials. Similar mechanical behavior was observed for the tested self-adhesive cements.

Key Words: Dual cure resin-based cement, Self-adhesive cement, Activation mode, Flexural strength, Modulus of elasticity

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1 Cimentos odontológicos à base de resina composta	05
2.2 A influência do método de ativação nas propriedades mecânicas	10
2.3 Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade	20
2.4 Grau de conversão	24
2.5 Influência da luz e do tempo de polimerização de cimentos duais	31
2.6 Cimentos resinosos auto-adesivos	34
3. PROPOSIÇÃO	39
4. MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 Obtenção das restaurações indiretas	41
4.2 Obtenção das amostras para o Teste de Resistência à Flexão	41
4.3 Ensaio de Resistência à Flexão	45
4.4 Módulo de Elasticidade	46
4.5 Análise em MEV (microscopia eletrônica de varredura)	48
5. RESULTADOS	49
5.1 Resistência à Flexão	49
5.2 Módulo de Elasticidade	52
5.3 Análise da região de fratura	55
6. DISCUSSÃO	68
7. CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS	77

1. Introdução

O uso de cimentos resinosos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos devido à larga aplicação de materiais restauradores indiretos estéticos. Isto tem ocorrido graças aos avanços nas propriedades físicas e mecânicas que resultaram em significativa melhora na qualidade da manipulação, aplicação do material, potencial estético e longevidade clínica. Em 1993, Christensen considerou que os cimentos resinosos possuem vantagens quando comparados aos cimentos à base de água. Além de apresentar melhores propriedades físicas, como maiores valores de resistência a compressão e tração, tenacidade à fratura e baixa solubilidade aos fluidos orais, são disponibilizados em diversas cores, o que os tornam materiais mais indicados para cimentação de restaurações protéticas.

Para assegurar que a restauração indireta permaneça fixada no preparo dental, o agente de cimentação deve apresentar alta resistência de união logo após a inserção. O processo de união e selamento da região entre a restauração protética e as estruturas dentais, com cimentos resinosos, com reação iniciada tanto por componente químico como pela forma física, têm sido indicado (Milleding, 1992). De acordo com Burrow, *et al.*, 1996, a emissão de luz no comprimento de onda visível e intensidade adequada proporcionaram o desenvolvimento de alta resistência da união nos primeiros momentos após o assentamento da restauração. No entanto, há diversas situações clínicas em que a ativação do compósito de resina para cimentação com a luz visível é parcial ou

impossível. Restaurações metálicas ou opacas, ou ainda, pinos intra-radiculares atenuam a transmissão de irradiância de luz visível para iniciar a reação de polimerização do cimento resinoso (Asmussen e Peutzfeldt 2006). Outro fator que pode atenuar a luz que atinge o cimento resinoso e comprometer a polimerização, além da distância da fonte de luz, é a espessura dos materiais restauradores indiretos. A diminuição da densidade de luz produz menor grau de conversão dos cimentos resinosos e, conseqüentemente, diminuição das propriedades mecânicas do material (Rueggerberg, 1988). Nestes casos, o processo de autopolimerização é necessário para assegurar a conversão dos monômeros e a união ao tecido dental. Entretanto, estudos prévios têm relatado que os cimentos resinosos polimerizados pelo processo químico de ativação não são capazes de desenvolver propriedades mecânicas semelhantes às atingidas pelo processo de fotoativação (Hasegawa, *et al.*, 1991; El-Badrawy e El-Mowafy, 1995). Isso pode comprometer o assentamento inicial e a longevidade clínica da restauração indireta.

Os cimentos resinosos de dupla presa são adequados para cimentação de peças protéticas e contêm componentes autopolimerizáveis para dar início à reação de polimerização na ausência de luz. Entretanto, estudos recentes suportam o conceito de que alguns cimentos resinosos de duais também dependem significativamente da luz para que alcancem uma polimerização adequada (Pegoraro, 2010). Os resultados obtidos com os testes de dureza e

resistência mecânica à tração indicam que os cimentos resinosos duais devem ser fotoativados para que atinjam o máximo de suas propriedades.

Em 2002, foi disponibilizado no mercado odontológico um material resinoso para cimentação que produz adesão em uma simples aplicação. O sistema auto-adesivo RelyX Unicem (3M ESPE), não requer o pré-tratamento do esmalte, da dentina e da superfície interna da restauração em resina composta, simplificando a técnica de cimentação (3M ESPE, 2002; De Munck *et al.*, 2004; Gerth *et al.*, 2006; Antunes ANG., 2007). Além disso, também tem sido sugerida uma possível reação química com a hidroxiapatita dos tecidos do dente e com as partículas vítreas de flúor alumino silicato, uma característica comprovada apenas com os ionômeros de vidro (Yoshida *et al.*, 2000). Tezvergil-Mutluay, *et al.*, (2007) demonstraram que os valores do grau de conversão obtidos pelo cimento auto-adesivo RelyX Unicem polimerizado apenas pelo sistema químico de oxiredução apresentaram redução entre 48 e 54% em relação à polimerização feita pela luz visível. Dessa forma, os cimentos auto adesivos podem apresentar os mesmos problemas relacionados com a inadequada polimerização dos cimentos resinosos tradicionais.

A falha potencial da restauração cimentada sob forças aplicadas está relacionada com as propriedades mecânicas das peças protéticas. A elasticidade da peça protética, bem como a deformação plástica sob uma carga compressiva pode ser considerada um importante mecanismo de falha da capacidade de retenção dos cimentos. O módulo de elasticidade está relacionado com a transmissão de estresse entre a restauração e a estrutura dentária. Também

indica a habilidade do cimento em resistir uma deformação elástica, a qual pode prejudicar a integridade da interface adesiva. Teoricamente, o agente de cimentação deve apresentar um valor de módulo de elasticidade entre a dentina e o material restaurador (Li e White, 1999). A propriedade de resistência à flexão de muitos materiais pode ser mais importante do que sua resistência à tração, cisalhamento ou à compressão, porque próteses fixas são susceptíveis a mais forças de flexão do que os outros tipos de tensões. A resistência à flexão e módulo de elasticidade são propriedades importantes no que diz respeito à capacidade do cimento de resistir ao estresse sem fraturar e/ou deformar permanentemente. Diferenças nas propriedades físicas e mecânicas dos cimentos podem produzir impacto no desempenho clínico dos agentes cimentantes, e o conhecimento sobre estas diferenças pode ajudar na escolha do material (Egle Saskalauskaite *et al*, 2006).

Como o sucesso clínico das restaurações indiretas também tem sido dependente do material usado para cimentação, é importante avaliar a resistência à flexão e o módulo de elasticidade de cimentos à base de resina composta polimerizados com luz direta e indireta, sob anteparo de resina pré-polimerizada e quimicamente.

2. Revisão de literatura

2.1 Cimentos Odontológicos à base de resina composta

Os compósitos são uma mistura de dois ou mais materiais com composições químicas diferentes, que foram combinados para produzir propriedades superiores ou intermediárias às daquelas dos seus constituintes individuais. Os compósitos dentais são materiais restauradores com cor semelhante ao dente compostos por polímeros sintéticos, carga inorgânica e agente de união. Além disso, são compostos por moléculas que promovem ou modificam a reação de polimerização acelerando a ligação cruzada da matriz do polímero dos monômeros a base de dimetacrilato (ativador/iniciador), e agente silano que irá aderir as cargas de reforço à matriz do polímero. Cada componente do compósito é crítico para o sucesso do material. Entretanto, a modificação mais significativa na evolução dos compósitos até o momento foram as modificações no tipo, tamanho e forma da partícula de carga (Ferracane,1995). A carga inorgânica tem como função reduzir a contração de polimerização, reduzir o coeficiente de expansão térmico da matriz, além de melhorar as propriedades mecânicas como dureza e resistência à compressão. Primeiramente, foram introduzidas nos materiais restauradores a base de metil metacrilato as partículas de quartzo com tamanho até 70 μm . A mudança do quartzo por partículas de vidro ou sílica coloidal permitiu a redução do tamanho das partículas e o aumento da quantidade de carga consideravelmente.

As resinas compostas indicadas para cimentação são, essencialmente, compósitos de baixa viscosidade e têm como matriz orgânica base o Bis-GMA (bisfenol glicidil metacrilato A), UDMA (uretano dimetacrilato) e entre 20 e 50%, em volume, de partículas vítreas com tamanho variável de 0,04 a 10 μm . Sua função é promover retenção da superfície interna de restaurações indiretas às irregularidades da estrutura dental, protegendo a margem da estrutura dental remanescente de infiltração de fluidos orais e/ou de bactérias (Burke, 2005). A menor viscosidade dos cimentos resinosos deve-se ao menor conteúdo de carga em volume que da resina composta indicada para restauração direta. Sua fluidez permite melhor escoamento do material tanto na superfície interna da restauração indireta, quanto na superfície dentária.

Em 1993, Cristensen considerou que os cimentos resinosos possuem vantagens quando comparados aos cimentos à base de água. Além de apresentar melhores propriedades físicas, como maiores valores de resistência a compressão e tração, tenacidade à fratura, baixa solubilidade aos fluidos orais, são disponibilizados em diversas cores e são materiais mais estéticos.

Os parâmetros de resistência influenciam muito a seleção do agente de cimentação. A resistência à compressão é considerada um fator crítico, pois é necessário um alto valor de resistência à compressão para que uma restauração tolere as forças mastigatórias (Oilo, 1978; Craig, 1977). A resistência à tração também é importante devido ao fato de alguns agentes cimentantes serem frágeis e suscetíveis a fratura (Oilo, 1978; Yettram et al, 1976; Craig, 1977; Nicholls, 1974). Em 1993, White S., *et al* realizou um estudo comparando a resistência à

compressão e a resistência à tração diametral de seis classes de novos cimentos adesivos sendo o cimento de fosfato de zinco o grupo controle. O teste de resistência à compressão foi realizado de acordo com as normas ANSI/ADA para cimentos de fosfato de zinco, cimentos de policarboxilato, e cimentos de ionômero de vidro. Espécimes cilíndricos de 12 mm de altura e 6 mm de diâmetro foram confeccionadas a partir de um molde de teflon em 60% de umidade relativa a 24°C. Após serem armazenadas em água destilada a 37°C por 24 horas, os espécimes foram levados a uma máquina de teste (Instron Corp., Canton, Mass) a velocidade de 0,05 cm/min e o valor de resistência à fratura dos materiais foi gravado. Para cada grupo testado, foram feitos 10 espécimes. Os resultados dos testes indicaram diferença significativa entre os grupos tanto para resistência à compressão, quanto para resistência à tração diametral. Generalizações dos cimentos adesivos foram feitas de acordo com a classe do material. A hidroxiapatita (HA Biomet) foi estatisticamente similar ao cimento de fosfato de zinco. Um cimento de policarboxilato (Durelon) demonstrou resistência à tração diametral significativamente maior do que o cimento de fosfato de zinco, entretanto em todos os outros casos, o cimento de policarboxilato foi similar ao cimento de fosfato de zinco. Todos os outros cimentos adesivos obtiveram resistência à tração e compressão significativamente maior do que o cimento de fosfato de zinco. O teste de resistência à compressão revelou diferentes padrões de fratura fractográficas. O cimento hidroxiapatita (HA Biomet), os cimentos de fosfato de zinco e os cimentos de policarboxilato fraturaram em muitos pedaços. Os cimentos adesivos de ionômero de vidro fraturaram ao longo do eixo em várias partes

menores, e os cimentos resinosos adesivos geralmente não fraturaram em fragmentos separados, mas rupturas lineares ao redor do centro dos espécimes. Os cimentos de fosfato de zinco são historicamente bem sucedidos, mas com evidências de fraturas freqüentes. O estudo revelou que é mais apropriado selecionar um agente de cimentação mais resistente. Um cimento resinoso, Panavia, demonstrou na pesquisa ter alta resistência à compressão e à tração diametral sendo 5x maior do que a resistência obtida pelo cimento de fosfato de zinco.

A estabilidade dimensional e integridade estrutural dos cimentos na cavidade oral são fatores determinantes do seu desempenho clínico. Alteração dimensional e integridade estrutural estão relacionadas com sorção e solubilidade. Por esta razão, o comportamento dos cimentos quanto a sorção e solubilidade tem sido avaliado em ensaios clínicos e laboratoriais. Clinicamente, a sorção e solubilidade podem causar degradação do material (Kanchanasita, 1997). Posteriormente podem causar desadaptação e/ou fratura da restauração, infiltração marginal, e aumentar o potencial de cáries secundárias. A absorção de água pelos polímeros ocorre principalmente na matriz resinosa. Portanto, materiais com menos conteúdo de carga possui mais sorção e solubilidade. A água absorvida pela matriz polimérica pode causar desunião da carga-matriz e até mesmo degradação hidrolítica da interface carga-matriz. A interação entre cimentos resinosos e água envolve dois fenômenos opostos. Por um lado a água promove lixiviação de monômeros residuais, contribui para contração, perda de peso e redução das propriedades mecânicas. Por outro lado, leva a um inchaço do

material e aumento de peso. Meşe *et al*, em 2008 com o objetivo de medir a sorção, solubilidade e alteração dimensional dos cimentos realizou um estudo com 8 cimentos (seis a base de resina e dois a base de cimento de ionômero de vidro modificado por resina) em duas soluções: 50% etanol:água e água destilada. Para cada material, foram feitos dez espécimes com 10,0 mm de diâmetro e 2,0 mm de espessura. Os materiais fotopolimerizáveis foram polimerizados por 20 segundos. Para os dois materiais de polimerização química, os materiais tomaram presa por 10 minutos. Após a confecção, os espécimes foram pesados e o diâmetro e a espessura foram medidas. Para cada material, cinco espécimes foram colocados em 20 mL de água destilada e cinco espécimes foram colocados em uma solução 50% etanol: água e foram armazenados em uma incubadora a 37°C. As dimensões e os pesos foram marcados em 1 h, 2 h, 6 h, 1 d, 3 d, e depois 1, 2, 3, 4 e 5 semanas após as medidas iniciais. Em cada intervalo de tempo, o volume foi calculado. Tanto para sorção e solubilidade, a estatística mostrou uma forte interação entre a solução (água ou etanol:água) e o material. Assim, o efeito da solução difere entre os materiais, e o efeito do material difere entre as soluções. Foi verificado que há uma interação entre os três fatores: material, solução e tempo. Os cimentos de ionômero de vidro modificado por resina testados neste estudo apresentaram sorção significativamente mais elevada comparada com os cimentos resinosos, tanto em água e etanol:água. A implicação clínica desta conclusão foi que o aumento da sorção de água dos cimentos de ionômero de vidro modificados por resina resultou em expansão higroscópica, como observado nos atuais trabalhos experimentais. Acredita-se que a presença de hidroxietil

metacrilato (HEMA), um monômero significativo componente do ionômero de vidro modificado por resina, foi a razão principal para a expansão higroscópica. No presente estudo, a sorção foi diferente entre os materiais, devido a vários fatores que influenciam a absorção de água. Sorção e solubilidade são dependentes do tipo e conteúdo de carga, a concentração de carga, tamanho médio das partículas, dos agentes de acoplamento, e da natureza das partículas de carga, e do tipo de solvente. Embora a solubilidade dos cimentos de ionômero de vidro modificado por resina tenha sido maior do que os cimentos resinosos, Hersek (1996) através de estudos clínicos demonstrou que os cimentos de ionômero de vidro têm solubilidade menor em comparação aos cimentos de fosfato de zinco e policarboxilato.

2.2 A influência do método de ativação nas propriedades mecânicas dos cimentos resinosos

A principal diferença entre os modos de polimerização é o sistema de iniciação. Os materiais fotopolimerizados são compostos por um sistema de uma pasta que contém um fotoiniciador, como a canforoquinona, que é ativado por uma luz azul, com um pico comprimento de onda de aproximadamente 470 nm. A reação normalmente é acelerada por uma amina orgânica (principalmente uma amina alifática). Agentes cimentantes autopolimerizáveis consistem em um sistema de duas pastas, com a pasta base que contém aminas terciárias aromáticas e uma pasta catalisadora contendo peróxido de benzoíla. Os agentes de cimentação de polimerização dual possuem ambos os sistemas de iniciação,

então, eles são um sistema de duas pastas, com a pasta base contendo geralmente canforoquinona e tanto aminas alifáticas como aminas terciárias aromáticas, e a pasta catalisadora contendo peróxido de benzoíla. Os cimentos de polimerização dual foram desenvolvidos com o objetivo de conciliar as características favoráveis dos cimentos autopolimerizáveis e fotopolimerizáveis, e assim promover polimerização em áreas profundas e reduzir o tempo de presa.

Para assegurar que a restauração indireta permaneça fixada no preparo dental, o agente de cimentação deve atingir boa adesão e alta resistência logo após a inserção da restauração indireta. Burrow, em 1996, avaliou a resistência à tração de três cimentos resinosos comerciais (um de polimerização dual e dois de polimerização química) à dentina bovina. A resistência à tração destes materiais foi testada nos tempos de 10 minutos, 1 hora e 24 horas. Os cimentos resinosos foram submetidos a duas condições diferentes: um grupo ao meio ambiente com temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa do ar, e a o outro grupo ao foi submetido à condição do meio oral, com temperatura de 30°C e 80% de umidade relativa do ar. Após o preparo do dente o cimento resinoso foi inserido na área demarcada (4 mm de diâmetro) e um compósito foi cimentado à dentina simulando uma restauração indireta. Os espécimes foram armazenados de acordo com os grupos e levados a uma máquina de ensaio universal para serem testados com o objetivo de avaliar a diferença entre os materiais autopolimerizáveis e de polimerização dual. Todos os materiais mostraram diferenças estatísticas para ambos os meios entre 10 minutos e 1 hora, e entre 1 hora e 24 horas, com exceção do cimento resinoso de polimerização dual (Bistite) entre 10 minutos e 1

hora em ambos os meios. Diferença estatística de resistência à tração entre os meios foi observada entre o cimento resinoso Bistite entre 10 minutos e 1 hora e Panavia 21(polimerização química) em 10 minutos. Superbond C&B não mostrou diferença significativa na resistência à tração nos dois meios testados e os outros materiais não mostraram diferenças entre os meios em um dia. A análise estatística dos materiais no período de 10 minutos foi realizada para determinar se o material de polimerização dual, Bistite, produziu maior resistência à tração do que os outros dois cimentos de polimerização química. Para ambos os meios testados, o cimento resinoso dual obteve maior resistência à tração, e nenhuma diferença estatística foi notada entre os cimentos autopolimerizáveis. Os resultados deste estudo, não mostraram variações na resistência à tração entre o meio ambiente e o meio oral. Para o Panavia 21, maior resistência foi observada no meio oral, provavelmente devido ao alto grau de polimerização em 10 minutos e 1 hora. Este mesmo efeito foi observado no superbond C&B, onde maior resistência à tração foi observada no meio mais quente. Entretanto o efeito da temperatura não foi detectado no cimento de polimerização dual. Em 24 horas, estas diferenças de resistência à tração não foram observadas em nenhum dos cimentos testados. No cimento polimerizado por luz, a polimerização do material tem se mostrado bem mais rápida, o que produz maior resistência à tração quando comparado ao cimento de polimerização química. Todos os materiais mostraram boa resistência à tração no período de 24 horas. Os cimentos autopolimerizáveis mostraram um maior aumento na resistência à tração adesiva. A resistência à tração inicial é considerada muito baixa, especialmente durante a

primeira hora. A implicação disto é que restaurações cimentadas com cimento resinoso, especialmente o autopolimerizável, não devem ser submetidas a cargas muito pesadas até que o cimento tenha endurecido suficientemente. A resistência à tração adesiva dos cimentos resinosos, tanto os autopolimerizáveis quanto os duais, aumentou significativamente nas primeiras 24 horas. A resistência à tração adesiva inicial do cimento autopolimerizável, sugere que deve ser feita uma remoção cuidadosa do excesso de cimento, e as restaurações não devem ser submetidas à cargas pesadas por pelo menos 1 hora após a inserção do material. O cimento resinoso dual foi capaz de atingir alta resistência adesiva em 10 minutos após a fotoativação.

Braga *et al*, em 2002, avaliou algumas das propriedades físicas dos cimentos resinosos como resistência à flexão, módulo de elasticidade e dureza de quatro cimentos resinosos. Os materiais testados foram: Enforce e Variolink II (auto, fotopolimerizáveis e polimerização dual), RelyX ARC (autopolimerizável e polimerização dual) e C&B (autopolimerizável). Espécimes com 10x2x1mm foram construídos a partir de um molde de aço inoxidável e fraturados utilizando o teste dos três pontos. Para os grupos onde a fotopolimerização foi utilizada, um espaçador feito de compósito com 2 mm de espessura foi colocado entre o cimento resinoso e a ponta da unidade de luz. O material Enforce revelou dureza estatisticamente semelhante entre os grupos autopolimerizáveis e de polimerização dual. O RelyX ARC, o grupo dual apresentou maior dureza do que o autopolimerizável. Variolink II de polimerização dual também apresentou maior dureza em relação com os grupos autopolimerizável e fotopolimerizável. No

entanto, diferentemente do Enforce, os espécimes fotopolimerizados demonstraram maior dureza do que os espécimes polimerizados quimicamente. Os resultados de resistência à flexão do cimento resinoso RelyX ARC foram estatisticamente superiores aos outros oito grupos experimentais. Todos os outros grupos foram estatisticamente semelhantes, exceto para Variolink II autopolimerizável, que mostrou resistência à flexão inferior ao RelyX ARC autopolimerizável, Variolink II fotopolimerizável, Variolink II de polimerização dual e C&B. Os resultados do teste de dureza estão de acordo com outros estudos semelhantes no que diz respeito ao fato de que os cimentos resinosos duais dependem da fotoativação para atingir valores mais altos de dureza (Hasegawa *et al.*, 1991; Watts *et al.*, 1994; Darr & Jacobsen, 1995; El-Badrawy & El-Mowafy, 1995; El-Mowafy *et al.*, 1999). Neste estudo (Braga *et al.*, 2002), a fotoativação foi realizada através de uma cobertura de resina composta com 2 mm de espessura, que foi utilizada para aproximar as condições do experimento aos encontrados na prática clínica. Mesmo considerando a atenuação da intensidade da luz, só Enforce obteve valores estatisticamente similares nos métodos autopolimerizáveis e dual. Os outros cimentos testados com mais de um modo de ativação revelaram menor dureza no modo químico. Em 1999, El-Mowafy avaliou a dureza Knoop de oito cimentos duais na ausência de fotoativação e observou que Enforce e Variolink II mostraram comportamentos contrários. Isto pode ser verificado neste estudo onde o Variolink II não apresentou polimerização suficiente quando somente polimerizado quimicamente. A análise estatística foi feita separadamente comparando os resultados obtidos dos diferentes modos de ativação. O grau de

dureza não prevê um absoluto grau de conversão de todos os compósitos. Entretanto, os testes de dureza permitem a avaliação da auto e fotopolimerização dos componentes do sistema de ativação que estão presentes dos cimentos resinosos duais (Peutzfeldt, 1995). Os cimentos resinosos não polimerizados estão associados a problemas como sensibilidade pós-operatória, microinfiltração e cáries recorrentes (El-Mowafy, 1999), suscetíveis à degradação, descoloração e diminuição das propriedades mecânicas (Uctasli *et al.*, 1994). Neste estudo, diferenças detectadas nos valores de dureza, não significaram diferenças nos valores de resistência à flexão. Enforce apresentou similares resistências à flexão nos três modos de ativação. Variolink II apresentou similar resistência à flexão no modo fotoativado e ativação dual. Segundo Ferracane e Greener (1986), haveria um limiar de qualidade da cadeia que deve ser atingido para produzir resinas com alta resistência. Depois que esta rede é formada, a resistência torna-se menos dependente do grau de polimerização. Os resultados deste estudo indicaram que avaliação dos cimentos resinosos não deve ser restrita aos testes que estimam o grau de polimerização direta e indiretamente.

Muitos estudos têm demonstrado que cimentos de polimerização dual dependem da fotoativação para atingir um grau máximo de conversão. Alguns materiais são super dependentes da fotoativação, o que pode ocasionar uma polimerização e desempenho clínico inadequado do cimento (Watts *et al.*, 1994). Um estudo realizado por Sharp em 2005, comparou o grau de polimerização de 6 cimentos resinosos nos modos auto e fotopolimerizados e no modo de polimerização dual através da medição do grau de conversão, dureza Barcol e

resistência à flexão. O percentual do grau de conversão e dureza Barcol foi medida uma vez para os cimentos fotopolimerizados e várias vezes para o autopolimerizáveis e de polimerização dual. Os resultados demonstraram que os cimentos Duolink, Rely X ARC e Illusion polimerizaram igualmente bem em todos os métodos de polimerização testados (autopolimerizáveis, fotopolimerizáveis e de polimerização dual). O cimento resinoso Variolink apresentou maior grau de conversão na ativação dual. O Calibra apresentou menor polimerização nos métodos fotopolimerizáveis e dual quando comparado ao método autopolimerizável. Com exceção do Calibra, todos os outros materiais apresentaram resistência à flexão maior quando fotoativados.

Em 2010, Pegoraro realizou um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos de variações no protocolo de ativação e envelhecimento acelerado em algumas propriedades de cimentos resinosos de polimerização dual. As propriedades avaliadas foram o grau de conversão, determinado pela espectrometria FTIR-ATR, microdureza Knoop e resistência mecânica à tração expressa em MPa. A variável de modo de ativação foi determinada em três níveis. Os cimentos foram manipulados de acordo com as instruções do fabricante e ativados por luz imediatamente (grupo controle), ativados por luz após 10 minutos de reação química no escuro (experimento 1) ou mantidos no escuro por 15 minutos, permitindo a reação química, mas sem fotoativação (experimento 2). Os espécimes cilíndricos de cimento resinoso foram confeccionados utilizando matrizes de polietileno pré-fabricadas com 10,5 mm de diâmetro por 2,5 mm de espessura. Os valores médios do grau de conversão foram expressos em % $\pm$ DP

e ambos os fatores, modo de polimerização e envelhecimento influenciaram significativamente o grau de conversão dos materiais testados. Os valores do grau de conversão variaram independentemente do material, tempo e modo de polimerização e envelhecimento de $29,8 \pm 3$ a $61,1 \pm 1,2$ no grupo controle; de $1,3 \pm 0,7$ a $59,3 \pm 2,9$ no grupo experimental 1; e de $1,3 \pm 0,4$ a $54,3 \pm 2,2$ no grupo experimental 2. Em geral, o grau de conversão aumentou com o tempo após a ativação por luz. O retardo da fotoativação por 10 minutos causou alterações no grau de conversão para alguns produtos somente. Adicionalmente, alguns materiais não apresentaram capacidade de polimerização química suficiente (experimento 2). Os cimentos tiveram suas propriedades mecânicas avaliadas e os testes estatísticos revelaram influência significativa em função dos diferentes modos de polimerização. A condição proposta no grupo experimental 1 aumentou significativamente a dureza dos cimentos Duolink, Panavia F 2.0, e Variolink II. Não houve diferença significativa entre o grupo experimental 1 e o grupo controle na resistência mecânica à tração para todos materiais. Alguns materiais testados (Panavia F 2.0 e Variolink II) não apresentaram habilidade suficiente para a autopolimerização. Na ausência de luz (experimento 2), os espécimes produzidos com esses materiais não puderam ser testados em dureza ou resistência mecânica à tração, com exceção do material Panavia F 2.0 novo que teve sua dureza medida, mas valores muito baixos foram observados. Os achados suportam o conceito de que tanto o Panavia F 2.0 quanto o Variolink II dependem significativamente da luz para que alcancem uma polimerização adequada, como demonstrada nos resultados de grau de conversão deste estudo. Os efeitos dos

diferentes modos de ativação variaram amplamente e parecem ser dependentes do material. Os resultados obtidos com os testes de dureza e resistência mecânica à tração estão de acordo com o que é geralmente aceito na literatura, de que todos os cimentos resinosos duais devem ser fotoativados para que atinjam as propriedades máximas.

As propriedades mecânicas do agente de cimentação e o procedimento de cimentação são essenciais no sucesso clínico de coroas e próteses parciais fixas (PPF), e são estreitamente relacionadas com a longevidade das PPF e sua resistência à fratura. Kumbuloglu, em 2004, avaliou a superfície de microdureza e resistência à flexão e a compressão de cinco agentes de cimentação e comparou o grau de conversão dos métodos autopolimerizáveis e duais de 4 cimentos a base de resina composta. Quatro cimentos resinosos – Panavia F, Variolink II, RelyX Unicem, e RelyX ARC – e cimento de policarboxilato (Durelon – grupo controle) foram utilizados do teste de flexão dos três pontos, compressão, e dureza Vickers após o armazenamento em água por uma semana. O teste dos três pontos de resistência à flexão utilizou 6 espécimes rômnicos (2 mm x 2 mm x 25 mm) para cada grupo de cimento preparado de acordo com as normas ISO 4049. Depois os espécimes foram levados a máquina de ensaio universal com velocidade de 1 mm/min. Para o teste de resistência à compressão, 20 espécimes cilíndricos (6 mm de altura e 4 mm de diâmetro) foram confeccionados para cada grupo de cimento de acordo com as recomendações ISO 9917 e levados a máquina de teste a uma velocidade de 1 mm/min.. Adicionalmente os cimentos resinosos foram analisados tanto na forma autopolimerizável quanto no modo dual

em espectroscopia FTIR. Seis espécimes cilíndricos foram preparados para cada grupo e metade dos materiais para cada grupo de cimento foi separado para ser autopolimerizada. A maior resistência à flexão foi obtida pelo Variolink 2 (90 MPa, DP $\pm$ 22), enquanto a mais baixa resistência foi encontrada no Durelon (28 MPa, DP $\pm$ 4). RelyX Unicem mostrou maior valor de dureza (44 HV, DP $\pm$ 4), enquanto o Variolink II obteve o menor (32 HV, DP $\pm$ 6). A maior resistência à compressão foi obtida com o RelyX Unicem (145 MPa, DP $\pm$ 32) enquanto o menor valor foi obtido pelo Durelon (41 MPa, DP $\pm$ 17). Para ambos os grupos de polimerização dual e autopolimerizável, RelyX ARC mostrou maior grau de conversão (81% e 61%, respectivamente) e RelyX Unicem obteve o menor valor (56% e 26%, respectivamente). Para todos os cimentos resinosos, o material de polimerização dual mostrou maior grau de conversão. Alguns pesquisadores relatam que o grau de conversão dos materiais a base de resina composta não está necessariamente relacionado com suas propriedades mecânicas. O tipo e o conteúdo das partículas de carga da resina composta também influenciam suas propriedades mecânicas. Levando isso em consideração, é interessante notar a alta resistência à flexão do Variolink II tanto no modo autopolimerizável quanto no modo dual, mesmo considerando que a intensidade de luz diminui em partes mais profundas do cimento e a pequena quantidade de ativadores químicos é verificada no teste de dureza. Além do alto conteúdo de carga comparado aos outros materiais testados, outra possibilidade para a explicação do comportamento do Variolink II é a presença de uretano dimetacrilato (UDMA) na sua composição monomérica. O monômero UDMA é mais flexível do que o monômero mais comumente utilizado, o

Bis-GMA devido as cadeias de uretano e menor viscosidade dos monômeros, que facilitam a migração dos radicais livres e aumentam a densidade da ligação cruzada. Adicionalmente, o conteúdo da resina composta é também responsável pela dureza. A resistência à compressão e a microdureza do Variolink II foram entretanto, não foram tão altos quanto o esperado da sua resistência à flexão. A relação entre o conteúdo de carga e dureza tem sido demonstrada. No presente estudo, os valores de dureza Vickers para Panavia F, Variolink II e RelyX ARC, com similar peso percentual de partículas de carga (≈ 78 wt%, ≈ 73 wt%, e ≈ 68 wt%, respectivamente), também foi similar.

2.3 Resistência à flexão e módulo de elasticidade

Resistência à flexão e módulo de elasticidade são parâmetros básicos para a avaliação das características mecânicas dos materiais dentários (Fong H. *et al.*, 2005; Smisson DC. *et al.*, 2005). O potencial de falha das restaurações cimentadas sob forças aplicadas está relacionado com propriedades mecânicas de partes individuais, e resistência à flexão e módulo de elasticidade são importantes propriedades com relação a habilidade do cimento em resistir estresse sem fraturar e/ou deformar permanentemente. As propriedades de flexão dos diversos materiais são atualmente mais importantes do que resistência à tração, ao cisalhamento e a compressão porque próteses parciais fixas cimentadas com cimento resinoso estão mais sujeitas a forças de flexão do que outros tipos de estresses (Oilo G. *et al.*, 1978). No teste de resistência à flexão desenvolvem-se tensões complexas: tração, compressão, e cisalhamento

semelhantes àsquelas que podem causar a fratura do corpo de uma restauração e, portanto, é a propriedade mais empregada na comparação do desempenho dos materiais restauradores estéticos. Estas podem ser as razões pelas quais as especificações ISO pra materiais restauradores à base de polímeros e materiais para cimentação (ISO 4049) somente são testados por teste de resistência à flexão. A ISO 4049 classifica os materiais odontológicos restauradores à base de polímeros em dois tipos: tipo I –materiais indicados pelo fabricantes para restaurar superfícies oclusais, e todos os outros materiais restauradores à base de polímeros são considerados do tipo II. A exigência de resistência mínima à flexão para o Tipo I é de 80 MPa e para o tipo II é de 50 MPa, para os três métodos de polimerização.

Outra propriedade bastante empregada é o módulo de elasticidade que está vinculado à rigidez do material. O módulo de elasticidade pode ser calculado através de qualquer ensaio de resistência, como à flexão. Uma resina composta com baixo módulo de elasticidade pode ser fraturar ou se deformar frente às tensões mastigatórias. Por outro lado, materiais com rigidez excessiva absorvem muito pouco as tensões provenientes das cargas mastigatórias e têm o inconveniente de transferir quase que totalmente as tensões desse impacto à interface de união e às estruturas duras do dente (Reinhardt *et al.*,1994). Huan Lu e colaboradores, em 2005, avaliaram a influência do modo de polimerização na resistência à flexão dos cimentos resinosos estéticos. Dez cimentos resinosos estéticos foram selecionados. Os materiais com os três modos de polimerização

(foto, auto e de polimerização dual) foram: Appeal, Calibra, Illusion, Lute-It, and Variolink-II; com dois modos de polimerização (dual and auto) foram Bistite-II-DC, Cement-It-C&B, Clearfil-DC-Cement, Linkmax, and Nexus2- Dual-Syringe. Cinco espécimes foram feitos para cada modo de polimerização disponível de cada material para o teste de resistência à flexão (2x2x25). Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas. Os espécimes foram então submetidos ao teste de resistência à flexão (MPa) e módulo de elasticidade (GPa) utilizando o teste dos três pontos em uma máquina universal de teste a uma velocidade de 0.5 mm/min. Os dados foram analisados por testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney ($\alpha=.05$). Os maiores valores de resistência à flexão foram obtidos pela polimerização dual do cimento Nexus2- Dual-Syringe (155 MPa), enquanto o menor valor foi obtido pelo método de autopolimerização do cimento Bistite-II-DC (56 MPa). O módulo de elasticidade variou de 4,3 a 10,0 GPa. O trabalho relatou o método de polimerização influenciou significativamente na resistência à flexão de cinco dos dez cimentos resinosos testados, enquanto oito dos dez materiais tiveram influência significativa no módulo de elasticidade. Somente as propriedades de flexão do Cement-It-C&B não foram influenciadas pelo método de polimerização. Para metade dos materiais testados, o modo de polimerização dual apresentou maiores valores de resistência à flexão do que o modo autopolimerizável. Este resultado está de acordo com outros estudos que relatam que a influência do método de polimerização é dependente do material, e o modo de polimerização dual produz maior resistência à flexão do que o modo de autopolimerização, quando o modo de polimerização é um fator influente (Hofman

et al, 2001 e Braga *et al*, 2002). Os espécimes de polimerização dual devem ter um maior grau de conversão devido aos dois sistemas de iniciação. O coeficiente de variação de alguns grupos foram maiores do que 10%, devido ao fato de alguns materiais terem incorporado pequenas bolhas, causando defeitos e falhas e interferindo na resistência à flexão de alguns espécimes. No teste dos três pontos, a resistência à flexão é sensível a condição do espécime. Tanto o método de polimerização quanto o agente cimentante influenciaram significativamente na resistência à flexão e no módulo de elasticidade ($P < .05$). Entretanto, todos os agentes de cimentação testados, apresentaram as exigências da ISO 4049 para resistência à flexão.

Em 2007, Pace realizou um estudo com o objetivo de avaliar as diferenças na resistência à flexão de diferentes cimentos resinosos em função do tempo e condição de armazenamento. Um molde retangular (25 x 2 x 2 mm) foi feito para fabricar 20 espécimes para cada um dos cinco tipos de cimentos resinosos. Os espécimes foram fotopolimerizados por 80 segundos no topo e 80 segundos no fundo para garantir a polimerização. 10 espécimes foram armazenados em água destilada a 37°C por 30 dias e as outras 10 foram testadas imediatamente após 10, 20, 30 e 60 minutos. O teste dos três pontos foi realizado. Após a fratura, a espessura e a largura dos espécimes foram medidos. O cimento RelyX ARC apresentou resistência à flexão significativamente maior quando comparado ao Calibra e ao Panavia F quando testados imediatamente. O cimento C/B Metabond, deformou e não fraturou no tempo do teste imediato, ou seja, não apresentou

resistência suficiente para ser testado. Depois da armazenagem, a resistência à flexão aumentou significativamente para o Calibra, Cement-It, Panavia F, e C/B Metabond. Observou-se uma ampla variação de resistência à flexão (94 ± 15 a 137 ± 15 MPa) dos cimentos resinosos adesivos. As variações nesses valores estão associadas à variação de composição e, em particular, o conteúdo de carga entre estes materiais. A resistência à flexão aumenta com o grau de polimerização e em menor extensão, com o aumento do volume de carga e partículas de silano. Entretanto, não houve diferença significativa na resistência à flexão entre os cimentos testados após 30 dias armazenados em água a 37°C. Como significância clínica, este trabalho relatou que os novos cimentos adesivos apresentam maior resistência à flexão imediata quando comparados aos cimentos de polimerização química. Porém, a ampla variação de resistência à flexão imediata dos novos cimentos adesivos sugere que alguns cimentos são mais apropriados para situações clínicas de alto estresse.

2.4 Grau de conversão

O grau de conversão dos agentes de cimentação a base de resina composta é importante para o sucesso clínico, a longevidade e para a biocompatibilidade da restauração. O grau de polimerização em ligações cruzadas das redes de polímeros tem um papel potencialmente importante na determinação final das propriedades físicas e mecânicas do material. Um baixo grau de conversão do monômero não está somente associado com as propriedades mecânicas e instabilidade dimensional (Hofman, *et al.*, 2001; Lovell, *et al.*, 2001),

mas também com a liberação dos monômeros residuais (Ferracane *et al*, 1990), que pode resultar em danos aos tecidos. Os principais fatores que controlam o grau de conversão de um compósito estão relacionados com a composição do material, densidade de potência da luz, comprimento de onda, tempo de exposição, distância da fonte de irradiação e quantidade e tamanho das partículas de carga do material (Asmussen, 1982; Ferracane, 1985; Koupis, 2004; Rueggerberg, 1993).

Em 1988, Rueggerberg avaliou compósitos fotopolimerizados para determinar e comparar a dureza Knoop, sorção de água, lixiviação da resina, e conversão dos monômeros para distinguir as diferenças das amostras polimerizadas através diferentes espessuras de compósitos subjacentes. Adicionalmente avaliou a dureza Knoop, sorção de água e lixiviação da resina para prever a extensão da conversão de monômeros. O preparo das amostras teve como objetivo simular a exposição de uma seção de 0,5 mm de espessura de materiais compósitos em diferentes profundidades. Os espécimes, fotopolimerizados com sobreposição e bases foram feitos com o mesmo lote de resina composta fotopolimerizável P-30. As bases com 2 mm de espessura serviram como material reflexivo, enquanto as sobreposições foram utilizadas para controlar a quantidade de luz que atinge a amostra e, portanto controlar o grau de conversão da espécime. As sobreposições foram feitas com várias espessuras (0,5; 1,0 e 2,0 mm). O grau de conversão foi verificado através da espectroscopia FTIR. A taxa de absorção dos espécimes fotopolimerizados pode depois ser convertida em percentual de duplas ligações (C=C) remanescentes. Máxima

conversão de 51% foi obtida pelos espécimes com menor ou nenhuma cobertura sobrejacente (0 a 1,5 mm). Para as coberturas de 1,5 a 2,5 mm houve uma diminuição da taxa de conversão. Os valores de conversão para os espécimes polimerizados com uma cobertura de 2,5 mm foram menores. Ou seja, houve uma tendência a diminuir o grau de conversão com o aumento da espessura da cobertura sobrejacente. Não houve relação da sorção de água das amostras com as espessuras das coberturas de resina composta. Entretanto, houve uma correlação entre a lixiviação da resina e espessura da cobertura. O aumento da taxa de lixiviação foi marcado pelo aumento da espessura da cobertura. As diferenças nos valores de conversão encontrados nesse estudo foram decorrentes das variações de densidade de luz. A diminuição da intensidade de luz produz menor polimerização dos espécimes. Os valores de dureza foram maiores em espécimes com alto grau de conversão. O que sugere que a dureza é sensível a pequenas mudanças na cadeia polimérica.

O desempenho clínico de materiais a base de Bis-GMA é altamente dependente de suas propriedades mecânicas e resistência à degradação química por ácidos e outras substâncias orgânicas encontradas na cavidade oral. Essas características são determinadas pelo grau de conversão do material. O grau de conversão dos materiais fotoativados está relacionado com a densidade de energia fornecida pela unidade de luz (expressa em J/cm²). Nos últimos anos, o uso de baixa densidade de energia tem se tornado comum na prática clínica, como vários estudos têm demonstrado que o uso de baixa intensidade de polimerização contínua, bem como aquelas caracterizadas pela densidade de

potência reduzida nos segundos iniciais, pode levar a importantes reduções na microinfiltração e formação de fendas em restaurações de resina composta. A redução da densidade de potência resulta em baixa taxa de polimerização, permitindo mais tempo para o compósito escoar antes de endurecer (Bouschlicher, 2000). O desenvolvimento de novos métodos de fotoativação levantou a preocupação de que a baixa taxa de polimerização pode alterar a estrutura final do polímero e afetar negativamente as propriedades químicas e físicas do material, apesar de atingir graus de conversão semelhantes aos obtidos com o uso de fotoativação contínua de alta intensidade. Um estudo anterior descobriu que amostras de resina sem carga fotoativadas por diferentes métodos de *pulse delay* apresentaram grau de conversão e valores de dureza semelhantes às amostras polimerizadas pela irradiação contínua de alta intensidade. No entanto, após armazenagem em etanol por 24 h, os espécimes do grupo *pulse delay* apresentaram maior redução na dureza do que o grupo controle (irradiação contínua de alta intensidade) (Amussen, 2001). A hipótese é de que baixa densidade de energia gera um pequeno número de radicais livres, resultando em uma estrutura polimérica mais linear com menor densidade de ligações cruzadas, aumentando a susceptibilidade de degradação ao etanol. Witzel, 2005 realizou um estudo com o objetivo de verificar a hipótese de que diferentes métodos de fotoativação com densidades de energia equivalente não afetaria o grau de conversão ou as propriedades mecânicas de um compósito e resina sem carga. O efeito de armazenagem em álcool nas propriedades mecânicas foi também verificado, para detectar possíveis diferenças na estrutura do polímero causada

pela fotopolimerização. Finalmente, os métodos de fotoativação foram avaliados quanto ao desenvolvimento de tensões de contração na polimerização do compósito. Para o teste de resistência à flexão, espécimes de 1 x 2 x 10 mm foram preparadas, fotoativadas com 600 mW/cm² por 40 segundos (grupo A); 200 mW/cm² por 120 segundos (grupo B) ou 600mW/cm² por 1 segundo + 3 minutos sem luz + 600 mW/cm² por 39 segundos (grupo C), e testados após 24 horas de armazenamento em água ou etanol. Os fragmentos dos espécimes foram utilizados para a medição da dureza Knoop e o grau de conversão foi determinado pela espectroscopia FT- Raman. O estresse de contração do compósito foi determinado por teste mecânico. Os resultados revelaram que o grau de conversão do compósito não foi afetado pela fotoativação (A 65 ± 1.8%; B 66 ± 3.4%; C 65 ± 2.9%). Para a resina sem carga o grau de conversão foi estatisticamente maior utilizando o método A (79 ± 0.3%) depois o B (74 ± 1.0%) e C (73 ± 1.0%). A fotoativação não influenciou as propriedades do compósito, independentemente do meio de armazenamento. Após o armazenamento em etanol, a resistência à flexão das resinas sem carga foram menores para os espécimes irradiados pelo método B. A polimerização por *pulse-delay* (grupo C) reduziu significativamente o estresse de contração (7,7 ± 1,3 MPa), quando comparados ao grupo A (10,7 ± 1,2 MPa) e ao grupo B (10,1 ± 1,3 MPa). Os métodos de fotoativação testados no presente estudo não afetaram o grau de conversão dos compósitos. Esses resultados estão de acordo com os resultados de outros estudos que utilizaram diferentes métodos de polimerização com densidade de energia similar. O método de fotoativação não influenciou nas

propriedades dos compósitos ou na suscetibilidade à degradação do etanol. Para a resina sem carga, o grau de conversão foi menor com o uso de baixa intensidade e *pulse-delay*, enquanto a resistência à flexão nos espécimes armazenados em álcool foi reduzida pela polimerização de baixa intensidade. *Pulse-delay* reduziu significativamente estresse de contração. Esses resultados estão de acordo com os resultados de outros estudos que utilizaram diferentes métodos de polimerização com densidade de energia similar (Halvorson, 2002; Bouschlicher, 200; Lim, 2002; Emami, 2003).

Arrais, em 2009, realizou um estudo com o objetivo de avaliar a eficácia dos sais co-iniciadores como o sufinato de sódio no grau de conversão de sistemas de cimentação dual (agente adesivo e cimento resinoso) quando a luz é atenuada ou inexistente. Dois produtos de 5ª geração (Prime&Bond NT dual/ Calibra e Excite DSC/Variolink II) foram aplicados, tanto com ou sem os co-iniciadores adicionados ao agente adesivo, e foram polimerizados em 4 condições: autopolimerizáveis, ou exposição direta de luz através de uma lâmina de vidro ou através de discos de resina pré-polimerizadas (cor A2 ou A4 2,0 mm) (Z250). O espectro infravermelho em tempo real foram obtidos depois da inserção dos componentes (não polimerizados) e durante 10 minutos (polimerizados) para obter a cinética de polimerização. O grau de conversão e a taxa máxima de polimerização foram calculados utilizando técnicas padrões de observação da mudança de alifática para aromática nas taxas de pico pré e pós-polimerizados. Os dados foram analisados estatisticamente. A adição de co-iniciadores aumentou o grau de conversão na maioria dos grupos. Nenhuma diferença significativa foi observada

entre Prime Bond NT Dual-Cure/Calibra e a versão sem o co-iniciador utilizando o modo de polimerização com luz direta. Todos os grupos que receberam luz direta exibiram maior grau de conversão em 10 minutos. Nenhuma diferença significativa foi observada no grau de conversão foi observada nos grupos com coberturas de resina pré-polimerizada entre a cor A2 e A4. Os grupos autopolimerizados exibiram o menor grau de conversão do que os grupos ativados pela luz, independente da presença de co-iniciadores. O uso de co-iniciadores aumentou a taxa máxima de polimerização somente para o grupo de polimerização química. Os grupos com cobertura A2 e A4 exibiram menor taxa de polimerização do que os grupos fotopolimerizados diretamente, independente da presença do co-iniciador. Esse resultado era esperado, como a intensidade de luz ideal para a ativação por luz de 600 mW/cm^2 pode ser reduzida para aproximadamente 120 mW/cm^2 quando transmitida através de uma restauração indireta de cerâmica com 2,0 mm de espessura (Prinsloo LC *et al*, 1997). Dessa forma, presume-se que menos de 120 mW/cm^2 atinge o cimento resinoso, como os compósitos são menos capazes de transmitir a luz do que os materiais cerâmicos (El-Badrawy WA *et al*, 1995). De acordo com os resultados deste estudo, é possível especular que o sufinato de sódio permite aos componentes autopolimerizáveis reagirem nos grupos com coberturas de resina A2 e A4 que têm os co-iniciadores, resultando em um maior grau de conversão quando comparados com o grau de conversão dos grupos sem o sal. A segunda hipótese que indica que os co-iniciadores podem contribuir para a conversão do monômero quando a luz é atenuada pela presença de uma restauração indireta foi validada. Entretanto, a diferença na cor da

restauração de resina composta indireta não resultou em diferenças no grau de conversão. Os efeitos negativos da atenuação da luz sobre o grau de conversão não foram evitadas pela adição do sal sufinato de sódio, apesar da sua capacidade de eliminar a incompatibilidade química entre monômeros ácidos e componentes autopolimerizáveis.

2.5 Influência da luz e do tempo de polimerização de cimentos duais

Para que se alcance alta resistência de união após a cimentação, é necessário que luz suficiente atinja o cimento resinoso. Entretanto, alguns pesquisadores, têm relatado que a restauração de cerâmica pode atenuar significativamente o efeito da luz, e como resultado, afetar a efetividade da polimerização (Jung *et al*, 2001; Uctasli *et al*, 1994). Sabe-se que tanto a espessura da cerâmica quanto a cor pode reduzir a irradiância da luz (Jung *et al*, 200; Rasetto *et al*, 2004; Uctasli *et al*, 1994; Koch, 2007). Estudos anteriores verificaram a dureza dos materiais de cimentação fotoativados através da cerâmica, e normalmente associavam baixos valores de dureza ao baixo grau de conversão. Entretanto, além da conversão das duplas ligações, a ativação indireta pode afetar o desenvolvimento da dureza com a redução da intensidade de luz que atinge o cimento, portanto tornando a reação de polimerização mais lenta e favorecendo a formação de menos ligações cruzadas poliméricas (Schneider, 2008). Além disso, tem sido especulado que o atraso da fotoativação de cimentos duais pode beneficiar o grau de conversão (Pegoraro, 2007). O raciocínio por trás dessa idéia é que a exposição imediata de luz e formação das ligações cruzadas

da cadeia polimérica pode interferir na polimerização química, aprisionando os promotores da polimerização e monômeros não reagidos na cadeia, interferindo assim no mecanismo de autopolimerização. Com o objetivo de avaliar se a polimerização do cimento resinoso é afetada por luz indireta através de diferentes espessuras de restaurações cerâmicas, Moraes em 2008, avaliou o grau de conversão de cimentos duais sob cerâmicas ao longo do tempo. No estudo, foram utilizados discos de cerâmica com 8,0 mm de diâmetro, cor A3, com espessura de 0,7; 1,4 e 2,0 mm. O valor da irradiância transmitida através de cada disco de cerâmica também foi obtido e medido em cada condição. Adicionalmente, a distribuição espectral da luz transmitida através de cada espécime de cerâmica, foi obtida e armazenada. O grau de conversão do cimento resinoso RelyX ARC foi avaliado através de espectrometria FTIR. Os discos de cerâmica foram posicionados sob o cimento resinoso e fotoativados por 40 segundos de acordo com os seguintes grupos: 0,7, 1,4 e 2,0 mm. No grupo controle, o cimento foi polimerizado diretamente sem a cerâmica. O grupo controle quimicamente ativado foi obtido blindando o material da exposição à luz. Um grupo foi obtido com exposição à fotoativação após 5 minutos do procedimento de manipulação sem o uso da cerâmica. Após os 40 segundos da fotopolimerização, o grau de conversão foi avaliado nos tempos de 1, 2, 4, 6, 8 e 10 minutos. O grau de conversão foi determinado subtraindo-se os remanescentes C=C de 100%. O nível da irradiância da unidade fotopolimerizadora era de 605 mW/cm². Uma diminuição da irradiância foi detectada com o aumento da espessura da cerâmica: 486 mW/cm² (0,7 mm), 390 mW/cm² (1,4 mm) e 258 mW/cm² (2,0 mm). Os fatores “modo de

ativação” e “tempo” foram significativos. Em 40 segundos, todos os grupos exceto o grupo de polimerização química e atraso de 5 minutos na polimerização mostraram grau de conversão maior que 66%. Em 10 minutos, o grau de conversão para todos os grupos foi significativamente maior do que em 40 segundos. Em 10 minutos, o grupo de polimerização química obteve menor grau de conversão quando comparado aos outros grupos. Nenhuma diferença significativa foi verificada entre ativação direta e ativação indireta independente do tempo. Nenhum efeito significativo foi verificado por atrasar a exposição à luz: apesar do baixo valor inicial, esse grupo mostrou grau de conversão similar a todos os grupos fotoativados após 6 minutos. Em geral, quando o grau de conversão é observado ao longo do tempo, um significativo aumento foi detectado somente após 4 minutos. O estudo verificou que a ativação indireta não reduziu o grau de conversão dos cimentos duais. A conversão das duplas ligações pela fotoativação é confiável em uma dose mínima de energia que excita os fotoiniciadores e produz suficientes números de radicais livres para polimerização. Apesar da diferença dos níveis de irradiância transmitidos através dos diferentes discos de cerâmica, os resultados desse estudo sugerem que a diferença na energia de luz não foi suficiente para produzir diferenças significativas no grau de conversão, independente do tempo. Esse resultado não está de acordo com outros estudos que observaram baixa dureza ou grau de conversão com o aumento da espessura de cerâmica (Tezvergil, 2007; Blackman, 1990; Meng, 2006). Duas explicações potenciais podem ser dadas para a diferença nesse achados: 1) este estudo foi realizado com uma fina camada de cimento, enquanto

nos outros estudos de dureza e grau de conversão, foram medidas geralmente em espécimes mais espessos, com redução da penetração de luz por dentro da massa do material; 2) apesar da relação entre dureza e grau de conversão, outros fatores também podem interferir no resultado da dureza, como estrutura química dos monômeros envolvidos e tipo e densidade das ligações cruzadas (Calheiros, 2008). Quando observada a conversão ao longo do tempo, um aumento contínuo foi detectado. O resultado desse estudo tem implicações clínicas na medida em que a polimerização química pode compensar a baixa irradiância que atinge o cimento, o procedimento de fotoativação é essencial para obter melhor grau de conversão. O estudo concluiu que cimentos duais são dependentes da exposição à luz e do tempo para obter melhores resultados no grau de conversão. E o procedimento de atraso não produziu nenhum efeito benéfico significativo no aumento da conversão dos cimentos duais.

2.6 Cimentos resinosos auto-adesivos

Até recentemente, os cimentos resinosos foram divididos em dois subgrupos de acordo com o sistema adesivo utilizado no dente preparado anteriormente a cimentação. Um grupo utiliza o condicionamento ácido e lavagem, e o outro grupo utiliza primers auto-condicionantes. Os cimentos resinosos auto-adesivos foram introduzidos em 2002 como um novo subgrupo de cimentos resinosos. Esses materiais foram desenvolvidos com a intenção de superar algumas deficiências de ambos os cimentos, os convencionais (fosfato de zinco, policarboxilato e ionômero de vidro) e cimentos resinosos, bem como para trazer

características favoráveis das diferentes classes de cimentos em um único produto. Cimentos auto-condicionantes não requerem nenhum pré-tratamento da superfície dentária. Uma vez que o cimento é manipulado, o procedimento de aplicação é super simples. A aplicação é realizada em um único passo clínico. De acordo com a informação do fabricante a *smear layer* não é removida, e nenhuma sensibilidade pós operatória é esperada. Diferente dos cimentos de fosfato de zinco, policarboxilato, e cimentos resinosos convencionais, os cimentos auto-adesivos são esperados em serem tolerantes a umidade e liberam flúor de uma forma comparável aos cimentos de ionômero de vidro. Além do mais, oferecem boa estética, propriedades mecânicas, estabilidade dimensional, e adesão micro mecânica, análoga aos cimentos resinosos. O RelyX Unicem foi o primeiro produto introduzido no mercado. São compostos por monômeros multifuncionais com grupos fosfóricos ácidos que simultaneamente desmineralizam e infiltram no esmalte e dentina. A reação de presa dominante é a polimerização do radical que pode ser iniciada pela exposição à luz ou pelo mecanismo de autopolimerização. O resultado disso é extensiva ligação cruzada dos monômeros e a criação de um polímero com alto peso molecular. Adicionalmente, com o objetivo de neutralizar esse sistema ácido inicial, o conceito de ionômero de vidro foi aplicado, resultando em um aumento do PH de 1 para 6 através de reações dos grupos ácidos fosfóricos e partículas alcalinas. Grupamentos ácidos fosfóricos também reagem com a apatita do dente. Água que é formada nesse processo de neutralização tem o objetivo de contribuir com a hidrofília inicial do cimento, o que promove uma melhor adaptação a estrutura dentária e tolerância à umidade.

Em 2007 Tezvergil-Mutluay, realizou um estudo *in vitro* monitorando o grau de conversão de quatro cimentos resinosos duais disponíveis no mercado (Variolink II, RelyX ARC, Panavia 2.0, RelyX Unicem) através de várias restaurações com 1,5 mm de espessura. Espectrometria FTIR foi utilizada para que a análise do grau de conversão dos cimentos resinosos fosse confiável. O resultado revelou diferença significativa no grau de conversão dos cimentos resinosos testados, e entre as diferentes restaurações. O cimento resinoso RelyX ARC mostrou maior grau de conversão 15 minutos após de iniciada a polimerização, enquanto Panavia 2.0 e RelyX Unicem obtiveram os menores valores. O cimento resinoso auto-adesivo RelyX Unicem obteve o menor grau de conversão quando polimerizado quimicamente. A redução do grau de conversão do modo químico quando comparado com a polimerização feita pela aplicação de luz foi de 48 a 50%. Este achado confirma o fato de que para cimentos resinosos duais dependem da irradiação da luz para atingir um grau de conversão ótimo. Além do mais, o baixo grau de conversão do RelyX Unicem foi atribuído a grande quantidade de partículas de carga (72%).

Em 2010, Nakamura realizou uma pesquisa com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas dos novos cimentos resinosos auto-adesivos. Os materiais selecionados foram: dois novos cimentos resinosos auto-adesivos (SAC-H e SAC-A), um cimento resinoso convencional (Panavia 2.0), três cimentos resinosos auto-adesivos (RelyX Unicem, Maxcem e G-Cem) e dois cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (Fuji e Vitremer). Para avaliar a

resistência à flexão e o módulo de elasticidade dos materiais foi utilizado o teste dos três pontos de acordo com a ISO 4049. Cinco espécimes retangulares (2 mm x 2 mm x 25 mm) foram confeccionadas para cada condição do teste e armazenadas em água destilada a 37°C por 24 horas para serem testadas em uma máquina universal de teste. Os novos cimentos auto-adesivos obtiveram resultados de resistência à flexão melhores (86,4-93,5 MPa) quando comparados aos outros cimentos resinosos auto-adesivos (29,7- 74,7 MPa) ou cimentos de ionômero de vidro (26,0-27,2 MPa). O módulo de elasticidade dos cimentos auto-adesivos e de ionômero de vidro foram 5,2-7,4 GPa e 2,3-3,4 GPa, respectivamente. Os novos cimentos resinosos auto-adesivos, SAC-H e SAC-A, têm basicamente a mesma composição química. A maior diferença entre eles é quanto ao método de mistura (manual e auto-mistável). Os novos materiais obtiveram resultados similares das propriedades mecânicas, o valor da resistência à flexão foi maior quando comparado aos cimentos de ionômero de vidro. Entretanto, a resistência à flexão do G-Cem, que é classificado pelo fabricante como cimento resinoso, foi quase a mesma dos cimentos de ionômero de vidro avaliados. Na realidade, a composição do G-Cem é muito parecida com a dos cimentos de ionômeros de vidro e devido a este fato, uma melhor classificação seria dada por cimento de ionômero de vidro modificado por resina. Como já foi relatado em outros estudos, o cimento resinoso convencional Panavia 2.0 possui resistência à flexão maior do que o cimento resinoso auto-adesivo RelyX Unicem. Entre os cimentos resinosos utilizados neste estudo, o Panavia e o Unicem obtiveram maior módulo de elasticidade (6,9 – 7,4 GPa). Apesar dos cimentos

SAC-H e SAC-A terem resistência à flexão similar ao do cimento Panavia, o módulo de elasticidade é menor, sugerindo que há uma pequena probabilidade de que o esforço aplicado à camada de cimento poderia causar microfraturas no cimento. Os resultados sugerem que esses cimentos são clinicamente utilizáveis.

3. Proposição

A proposta deste estudo foi avaliar a resistência à flexão e módulo de elasticidade de quatro cimentos resinosos duais através do teste dos 3 pontos. As seguintes variáveis foram consideradas e estudadas:

1. Método de ativação da polimerização:

- 1.1 Ativação química;

- 1.2 Fotoativação direta;

- 1.3 Fotoativação indireta.

A hipótese do estudo é de que a resistência à flexão e o módulo de elasticidade dos cimentos resinosos não variam em função da ativação.

4. Material e métodos

Para execução da metodologia experimental, foi utilizada uma resina composta para restauração indireta e quatro cimentos resinosos. Os nomes comerciais, fabricantes e a composição de cada material estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos materiais utilizados no estudo

Material (Lote)	Fabricante	Composição
RelyX ARC (A1) (N100462) Convencional	3M ESPE St. Paul, MN, USA	Bis-GMA, TEDGMA, polímero dimetacrilato, zircônia, sílica.
RelyX U100 (A2) (363426) Auto-adesivo	3M ESPE St. Paul, MN, USA	Pasta base: pó vítreo de flúor amino silicato, ésteres ácido fosfórico metacrilato, dimetacrilato de trietilenoglicol, sílica tratada com silano e persulfato de sódio. Pasta catalisadora: pó vítreo de flúor amino silicato, dimetacrilato substituído, sílica tratada com silano, p-toluenosulfonato de sódio e hidróxido de cálcio.
Clearfil Esthetic Cement (A1) (0008AA) Convencional	Kuraray Medical inc. Kurashiki, Japão	Pasta A: Bis-GMA, TEGDMA, outros monômeros metacrilatos, partículas de vidro silanizadas e sílica coloidal. Pasta B: Bis-GMA, TEGDMA, outros monômeros metacrilatos, partículas de vidro silanizadas, sílica silanizada, sílica coloidal, peróxido de benzoíla, dl-canforoquinona, pigmentos
Clearfil SA Cement (A2) (0005AA) Auto-adesivo	Kuraray Medical inc. Kurashiki, Japão	Pasta A: Bis-GMA, TEGDMA, MDP, dimetacrilato aromático hidrófobo, partículas de vidro de bário silanizadas, sílica coloidal silanizada, dl-canforoquinona, peróxido de benzoíla e iniciador. Pasta B: Bis-GMA, dimetacrilato aromático hidrófobo, dimetacrilato alifático hidrófobo, partículas de vidro de bário silanizadas, superfície tratada com fluorido de sódio, aceleradores e pigmentos.

Sinfony (A2) (213555)	3M ESPE St. Paul, MN, USA	Dimetacrilatos, vidro de boroaluminosilicato e estrôncio, sílica pirogênica, cimento de ionômero de vidro, silano, iniciador.
----------------------------------	---------------------------------	---

Bis-GMA: Bisfenol glicidil metacrilato A; TEGDMA: Trietilenoglicol dimetacrilato; MDP: Metacriloxiethyl dihidrogênio fosfato

4.1 Obtenção das restaurações indiretas

Para a confecção das restaurações indiretas foi utilizada uma matriz metálica circular com 10,0 mm de diâmetro por 2,0 mm de espessura. A resina composta indireta Sinfony (3M ESPE) na cor A2 foi pré-polimerizada em uma unidade Visio Alfa (3M ESPE), seguida de polimerização final por 15 minutos na unidade de polimerização Visio Beta Vario (3M ESPE). Em seguida foram limpas em água destilada por 3 minutos em ultra-som (Maxiclean-Unique-Indaiatuba-São Paulo).

4.2 Obtenção das amostras para o Teste de Resistência à Flexão

Amostras de cimentos resinosos de polimerização dual em forma de barra foram confeccionadas a partir de uma matriz confeccionada com silicone polimerizado por adição (Figura1) (Aquasil LV / Dentsply). As matrizes apresentam 2,0 mm de espessura, 2,0 mm de largura e 7,0 mm de comprimento.

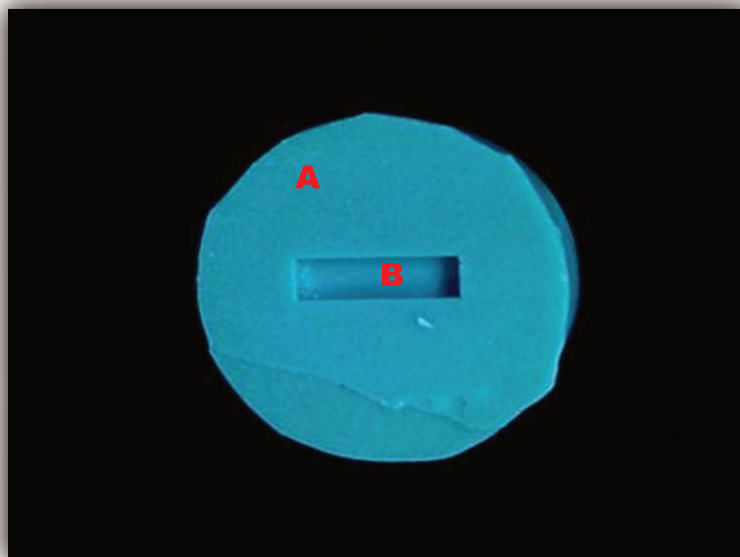


Figura 1: Fotografia da matriz (A) de silicone polimerizado por adição (Aquasil) contendo em seu interior o molde (B) para confecção das barras de cimentos resinosos.

Os espécimes foram confeccionados em uma sala com temperatura a 24° C e umidade controlada, sob luz fluorescente de cor amarela, de forma que não houve interferência na polimerização dos materiais. Após a manipulação dos cimentos de polimerização dual, dois de mistura manual e dois de auto-mistura, conforme as orientações do fabricante, os moldes foram devidamente preenchidos. Uma fita de poliéster (TDV, Pomerode - SC, Brasil) foi colocada sobre o cimento resinoso para pressionar o material no interior do molde, permitindo assim, melhor escoamento e uma superfície mais lisa.

Os espécimes obtidos foram individualmente fotoativados por 40s com aparelho fotopolimerizador (Free Light Elipar, 3M ESPE) com 1000 mW/cm² de potência, previamente verificado com um radiômetro (Power Meter / Ophir), antes de sua utilização. Para o grupo 1 (controle), 15 amostras de cada cimento foram

fotoativadas diretamente. Para o grupo 2 (experimental), 15 amostras de cada cimento foram fotoativadas utilizando anteparo de resina composta com 2 mm de espessura entre a ponta ativa da unidade fotoativadora e o cimento resinoso. E, para o grupo 3 (experimental), 15 amostras de cada cimento foram autopolimerizadas (quimicamente). Neste caso, os cimentos resinosos foram inseridos no molde da matriz e colocados em um recipiente livre de luz.

Após 1 hora, as amostras foram cuidadosamente removidas das matrizes. Cada espécime teve seus bordos e ângulos refinados com uma lâmina de bisturi número 15, as amostras foram armazenadas em água deionizada a 37°C por 24 horas. As amostras que apresentaram bolhas ou defeitos foram descartadas.

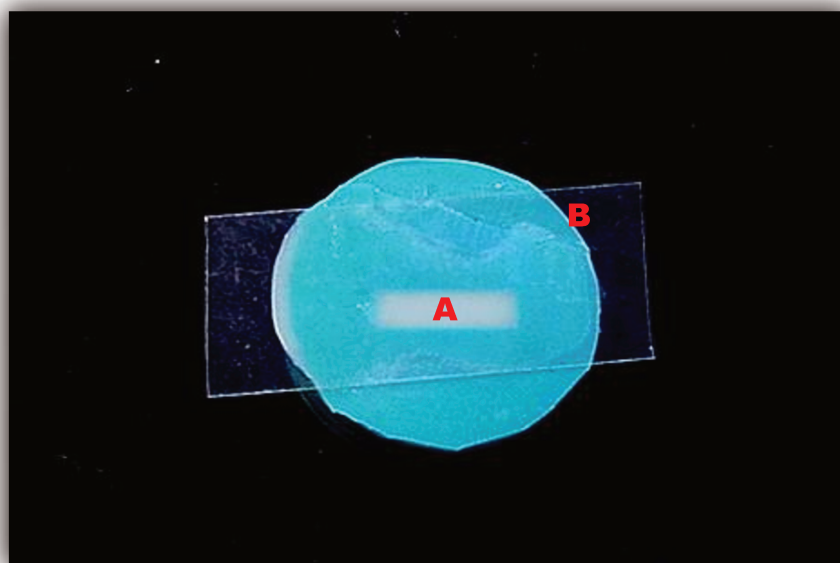


Figura 2 – Fotografia mostrando o molde devidamente preenchido com o material para cimentação a base de resina composta (A) e coberto com tira de poliéster (B).

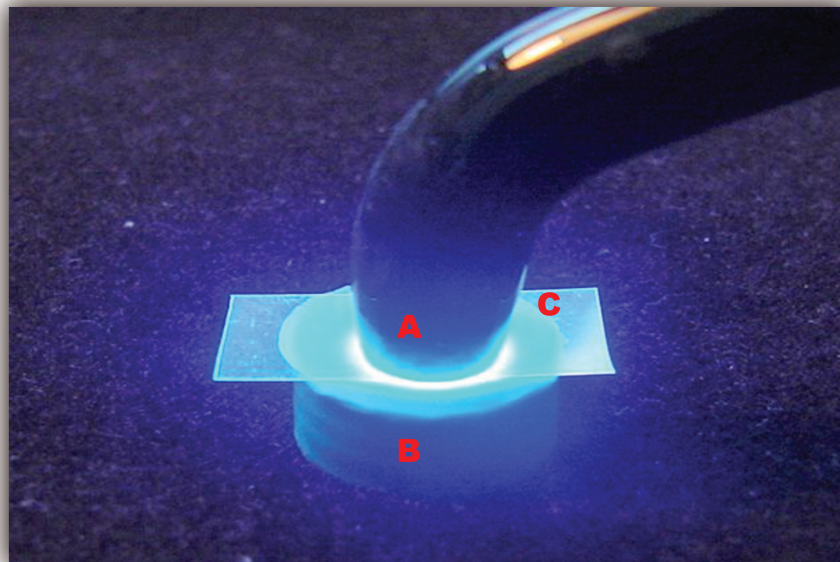


Figura 3 – Fotografia que mostra o procedimento de fotoativação pelo método direto. (A) representa a ponta do LED, (B) matriz já preenchida com o material e (C) tira de poliéster.

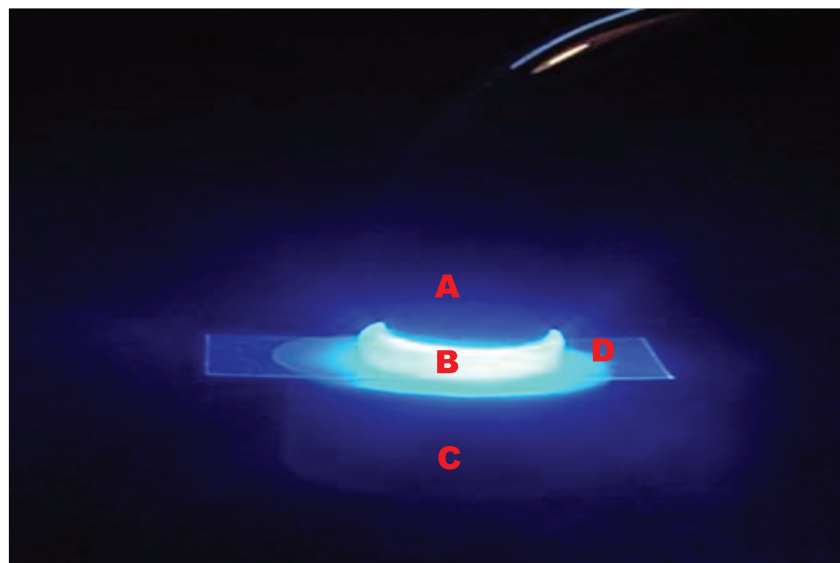


Figura 4 - Fotografia que mostra o procedimento de fotoativação pelo método indireto com anteparo de resina composta pré-polimerizada com 2,0 mm de espessura. Onde (A) representa a ponta do LED, (B) anteparo de resina composta, (C) matriz já preenchida com o material e (D) tira de poliéster.

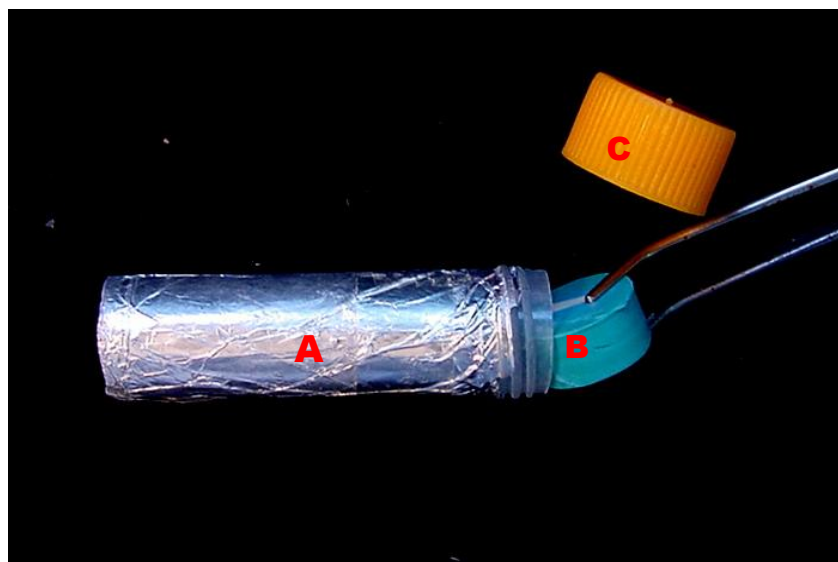


Figura 5 – Fotografia que mostra o procedimento de polimerização química. (A) Recipiente livre de luz vedado com uma folha de alumínio (B) Matriz sendo introduzida no recipiente (C) Tampa do recipiente.

4.3 Ensaio de Resistência à Flexão

O ensaio de resistência à flexão foi determinado de acordo com o padrão ISO 4049, exceto pelo fato do molde de aço inoxidável ter sido substituído por moldes equivalentes de silicone polimerizado por adição para facilitar a remoção do espécime sem provocar fraturas. O teste dos três pontos foi realizado utilizando uma máquina universal de ensaio (Instron 4411, Canton, MA, Inglaterra), utilizando uma célula de carga de 50 kgf, operando à velocidade de 0,5 mm/min até a ruptura do espécime. Os valores da resistência à flexão foram obtidos em MPa. O dispositivo utilizado para apoiar os espécimes consistiu em duas hastes inferiores montadas paralelamente e 5,0 mm separadas uma da outra e uma

terceira haste superior localizada no centro para a aplicação da força. Um gráfico carga-deformação foi traçado. A resistência à flexão, F , foi determinada utilizando a seguinte equação:

$$F=3P_fL/2WH^2$$

Onde P_f é a medida da carga inserida no espécime no ponto de fratura, L é a distância entre os suportes e a superfície de tensão (5,0 mm), W é a média da largura do espécime, e H a média da espessura do espécime.

4.4 Módulo de elasticidade

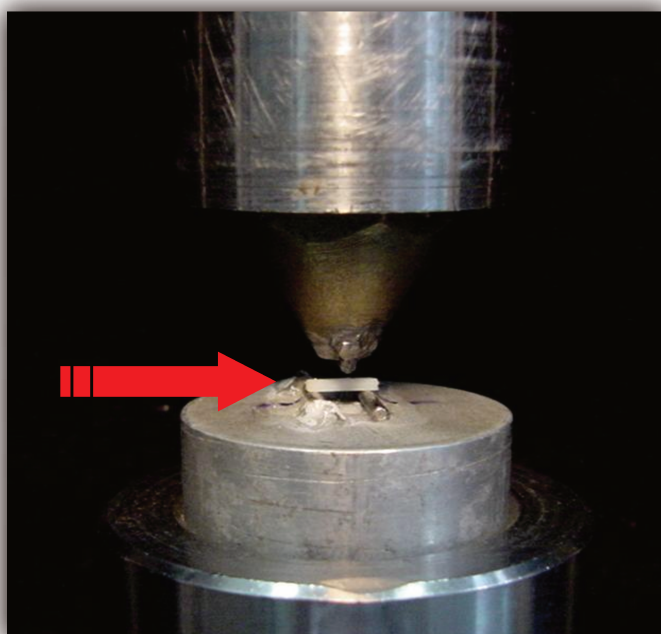
O módulo de elasticidade, E , foi determinado através do traçado carga x deformação durante o teste dos três pontos de resistência à flexão descrita anteriormente através da seguinte equação:

$$E=(\Delta F/\Delta Y) \times (L^3/4WH^3)$$

Onde $\Delta F/\Delta Y$ é a mudança na força (ΔF) por mudança de unidade na deflexão no centro do espécime (ΔY), L é a distância entre os suportes e a superfície de tensão (5,0 mm), W é a média da largura do espécime, e H a média da espessura do espécime.



Figura 6 – Fotografia mostrando a máquina de ensaio Instron com o aparato montado para realização do teste dos três pontos.



Figuras 7 – Fotografia em maior aumento do teste dos três pontos mostrando o corpo-de-prova posicionado no dispositivo e preparado para receber a carga

4.5 Análise em MEV (microscopia eletrônica de varredura)

Os corpos-de-prova fraturados no ensaio de resistência à flexão foram analisados em MEV. Para isso, ambas as extremidades de cada corpo-de-prova rompido foram fixadas em “*stubs*” de alumínio com auxílio de fita de carbono dupla face (Electron Microscopy Sciences, Washington, USA). Em seguida, os corpos-de-prova receberam cobertura de ouro/paládio em um metalizador (Balzers, modelo SCD 050 sputter coater, Balzers Union Aktiengesellschaft, Fürstentum Liechtenstein, Germany) e foram observados em microscópio eletrônico de varredura (JEOL-5600 LV, Japão) a uma aceleração de voltagem de 15 KV, WD= 30 mm e spotsize 30 nm.

5. Resultados

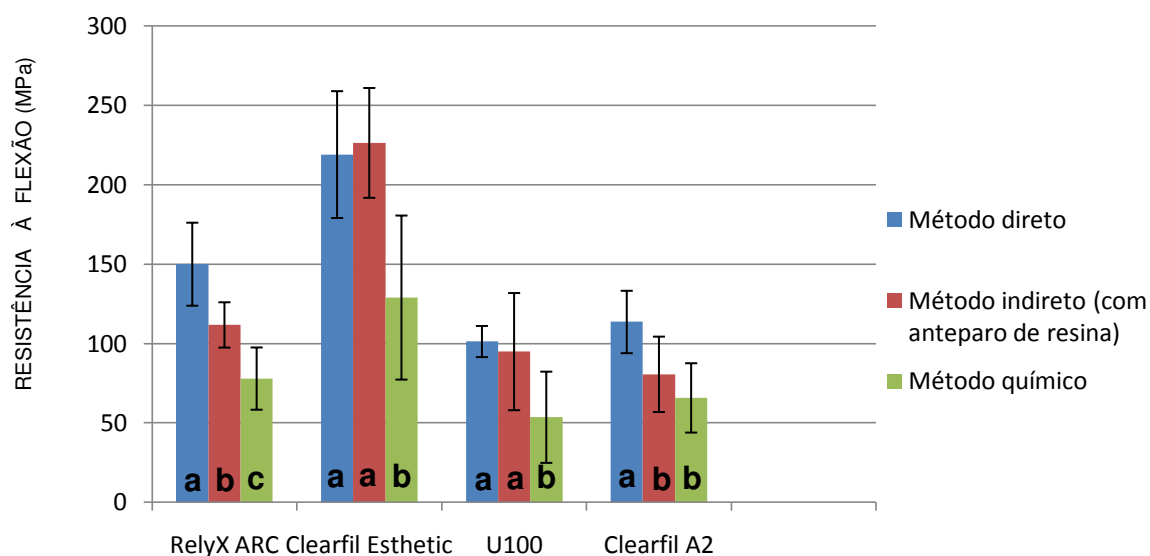
5.1 Resistência à Flexão

Os valores originais foram submetidos à Análise de Variância (dois fatores) e ao teste de Tukey em nível de significância de 5%. Os valores médios da resistência à flexão dos cimentos avaliados no método direto, método indireto com anteparo de resina composta e método químico estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios e desvio-padrão da resistência à flexão (MPa) dos cimentos resinosos utilizados.

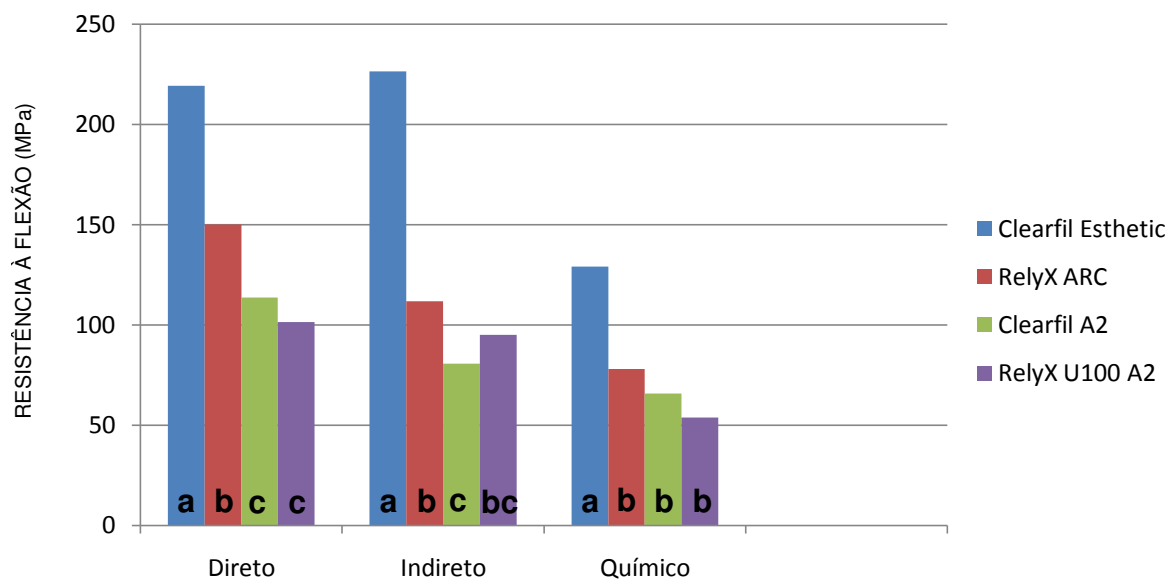
	Método Direto	Método Indireto (com anteparo de resina)	Método Químico
RelyX ARC	150,0 (26,1) bA	111,7 (14,2) bB	77,9(19,6) bC
Clearfil Esthetic Cement	219,0 (39,9) aA	226,4 (34,5) aA	129,0(51,6) aB
RelyX U100 (auto-adesivo)	101,3 (9,8) cA	94,9 (36,9) bA	53,6(28,7) cB
Clearfil SA Cement (auto-adesivo)	113,6 (19,6) bcA	80,6 (23,7) bB	65,8(21,8) bcB

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas em coluna e maiúsculas em linha, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os métodos de ativação (teste de Tukey $p < 0,05$).

Figura 8 – Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à flexão (MPa) comparando os métodos de fotoativação direta, fotoativação indireta (com anteparo) e ativação química para os diferentes materiais estudados.



Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os métodos de ativação (teste de Tukey $p < 0,05$).

Figura 9 – Ilustração gráfica dos valores médios de resistência à flexão (MPa) comparando estatisticamente os materiais estudados nos diferentes métodos experimentais.

Conforme os resultados mostrados na Tabela 2 e na representação gráfica dos resultados de resistência à flexão (Figuras 8 e 9), observou-se que os métodos que utilizaram luz (direta e indireta) apresentaram diferença significativa e superior em relação ao método de polimerização química, exceto para o material Clearfil SA Cement entre o método indireto e o método químico. Os materiais Clearfil Esthetic Cement e RelyX U100 não apresentaram diferença significativa entre o método de fotoativação direta e o de fotoativação indireta com anteparo de resina. O RelyX ARC apresentou diferença significativa entre os três métodos avaliados. No método de fotoativação direta, o RelyX ARC apresentou diferença significativa e superior quando comparado aos métodos indireto e químico, e o método químico obteve diferença significativa menor que o método indireto. O Clearfil SA Cement apresentou diferença significativa e maior no método de fotoativação direta comparado com os outros métodos, entretanto o método indireto de fotoativação com anteparo e químico não apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre si.

De acordo com a Tabela 2 e as Figuras 8 e 9, observou-se que o Clearfil Esthetic Cement apresentou maior valor médio de resistência à flexão em todos os métodos avaliados, sendo significativamente superior em relação que os outros cimentos testados neste estudo. O método químico de polimerização apresentou os menores valores médios de resistência à flexão. Os cimentos convencionais RelyX ARC e Clearfil Esthetic Cement apresentaram valores de resistência à flexão estatisticamente superiores quando comparados ao cimento auto-adesivo RelyX U100.

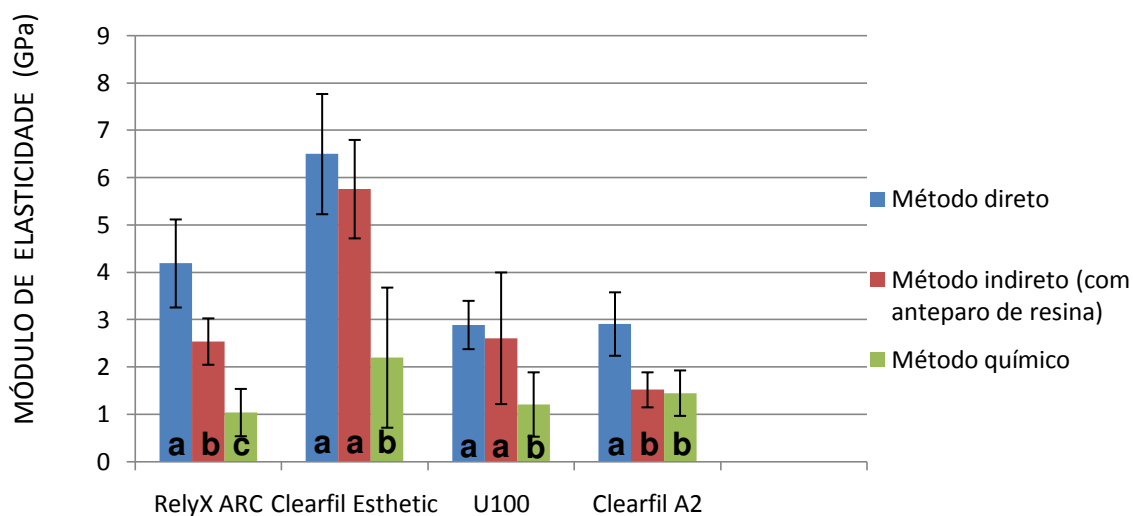
5.2 Módulo de elasticidade

Os valores originais foram submetidos à Análise de Variância (três fatores) e ao teste de Tukey em nível de significância de 5%. Os valores médios de módulo de elasticidade dos cimentos avaliados no método direto, método indireto com anteparo de resina composta e método químico estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios e desvio-padrão do módulo de elasticidade (GPa) dos cimentos resinoso utilizados.

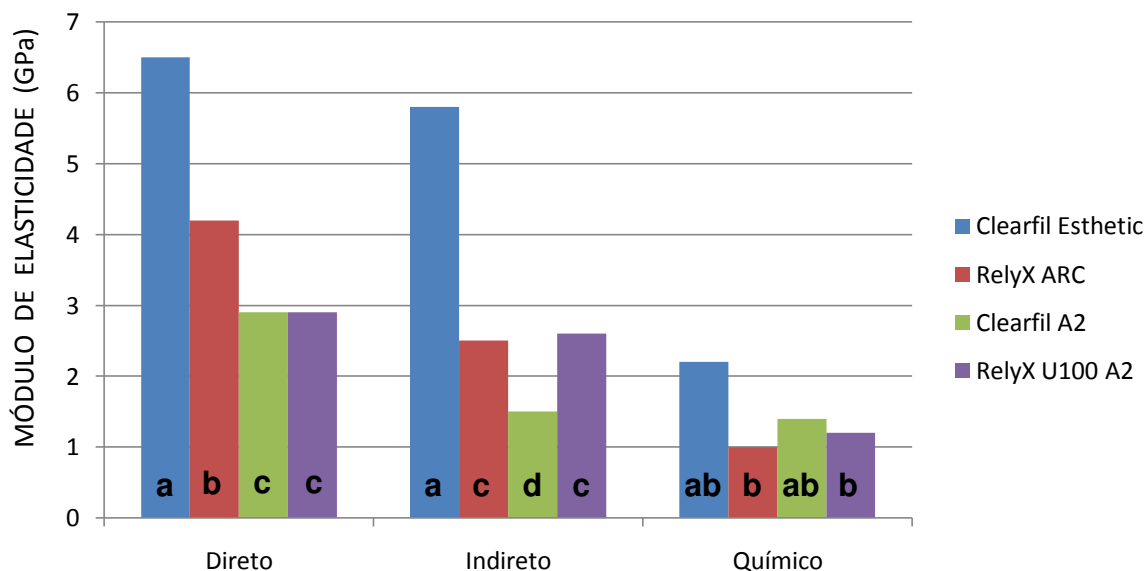
	Método Direto	Método Indireto (com anteparo de resina)	Método Químico
RelyX ARC	4,2 (0,9) bA	2,5 (0,5) bB	1,0 (0,5) bC
Clearfil Esthetic Cement	6,5 (1,3) aA	5,8 (1,0) aA	2,2 (1,5) aB
RelyX U100 (auto-adesivo)	2,9 (0,5) cA	2,6 (1,4) bcA	1,2 (0,7) bB
Clearfil SA Cement (auto-adesivo)	2,9 (0,6) cA	1,5 (0,4) cB	1,4 (0,5) bB

Médias seguidas de letras diferentes, minúsculas em coluna e maiúsculas em linha, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os métodos de ativação (teste de Tukey $p < 0,05$).

Figura 10 - Ilustração gráfica dos valores médios de módulo de elasticidade (GPa) comparando os métodos de fotoativação direta, fotoativação indireta (com anteparo) e ativação química para os diferentes materiais estudados.



Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os métodos de ativação (teste de Tukey $p < 0,05$).

Figura 11 – Ilustração gráfica dos valores médios de módulo de elasticidade (GPa) comparando estatisticamente os materiais estudados nos diferentes métodos experimentais.

Conforme os resultados mostrados na Tabela 3 e nas Figuras 10 e 11 dos resultados de módulo de elasticidade, observou-se que os métodos que utilizaram luz (direta e indireta) apresentaram diferença significativa e superior em relação ao método de polimerização química, exceto para o material Clearfil SA Cement entre o método indireto e o método químico. Os materiais Clearfil Esthetic Cement e RelyX U100 não apresentaram diferença significativa entre o método de fotoativação direta e o de fotoativação indireta com anteparo de resina. O material RelyX ARC apresentou diferença significativa nos três métodos testados. No método de fotopolimerização direta, o RelyX ARC apresentou diferença significativa e superior quando comparado aos métodos indireto e químico, e o método químico obteve diferença significativa menor que o método indireto. Os materiais Clearfil Esthetic Cement e RelyX U100 não apresentaram diferença significativa entre o método de fotopolimerização direta e indireta. O Clearfil SA Cement apresentou diferença significativa e superior do método com fotoativação direta quando comparado com os outros dois outros métodos polimerização, indireto e químico.

De acordo com a Tabela 3 e as Figuras 10 e 11, observou-se que o material que apresentou maior valor médio de módulo de elasticidade em todos os grupos testados foi o Clearfil Esthetic Cement, sendo significativamente maior que os outros cimentos avaliados neste estudo. O método químico de polimerização apresentou os menores valores médios de módulo de elasticidade. Os cimentos resinosos convencionais RelyX ARC e Clearfil Esthetic Cement apresentaram

valores de módulo de elasticidade superiores quando comparados ao cimento auto-adesivo U100.

5.3 Análise da região de fratura

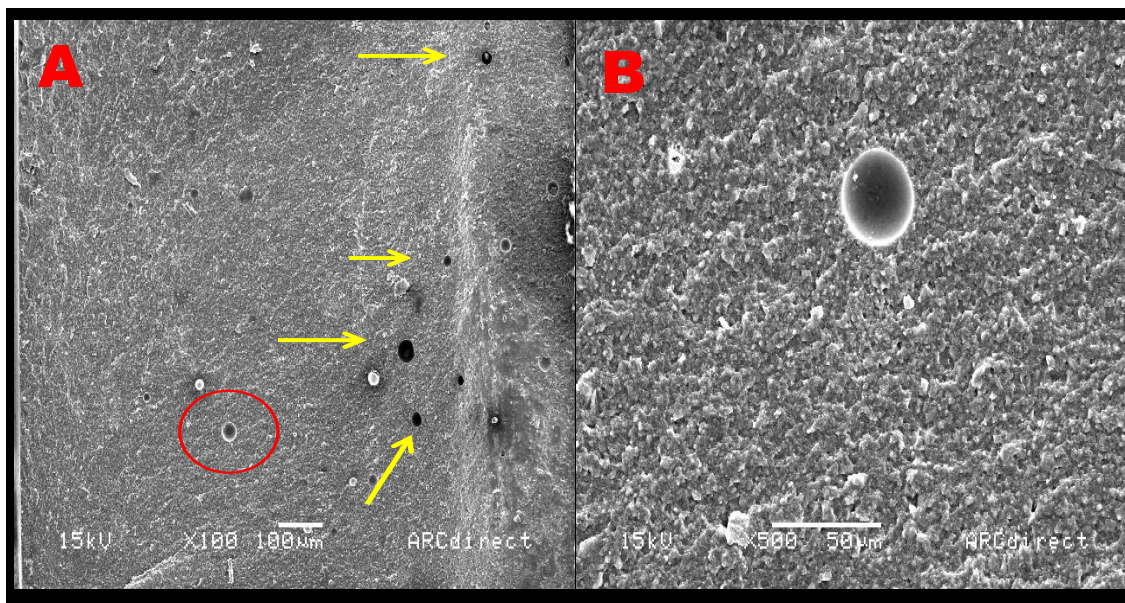


Figura 12 – Fotografias em MEV do cimento RelyX ARC, fotoativado pelo método direto, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime. Na fotografia **A** (100x de aumento), observa-se o aprisionamento de bolhas de ar (indicadas pelas setas amarelas) na matriz do cimento resinoso. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar a presença de uma bolha de ar maior e, uma matriz resinosa irregular, contendo porosidades.

A Figura 12 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento RelyX ARC, fotoativado pelo método direto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, observa-se o grande aprisionamento de bolhas de ar, que foram incorporadas a matriz do cimento resinoso durante a manipulação. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar o aspecto de uma bolha e matriz do cimento resinoso, caracterizada por uma superfície irregular e porosa.

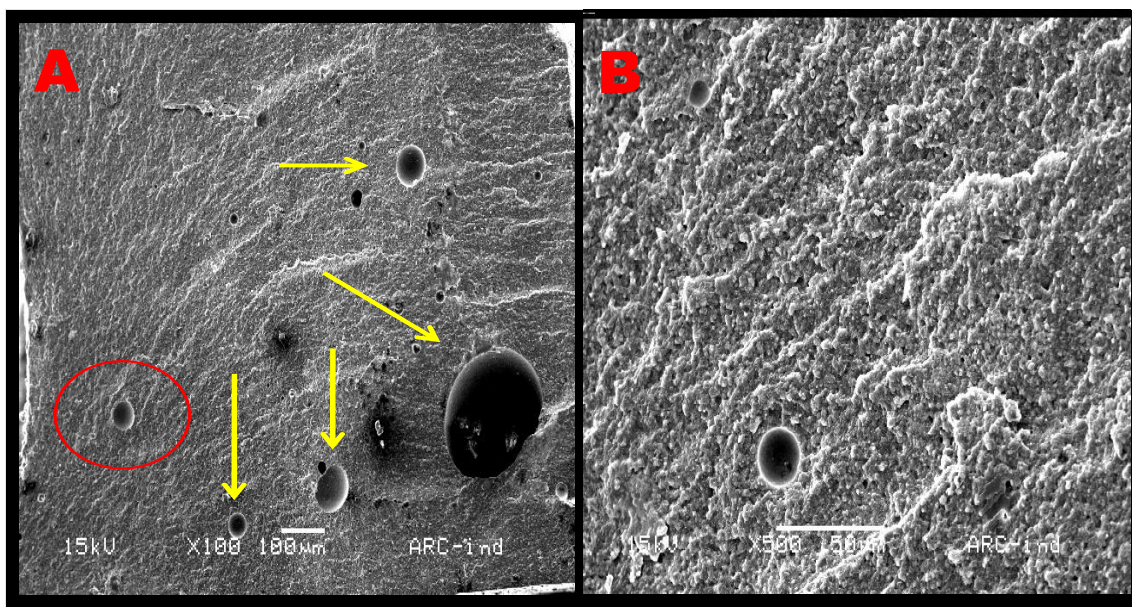


Figura 13 – Fotografias em MEV do cimento RelyX ARC, fotoativado pelo método indireto, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), observa-se a presença de bolhas de ar (indicadas pelas setas amarelas) na matriz do cimento resinoso. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar a presença de uma bolha de ar maior e, uma matriz resinosa irregular, contendo porosidades.

A Figura 13 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento RelyX ARC, fotoativado pelo método indireto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, observa-se o grande quantidade de bolhas de ar, que foram incorporadas a matriz do cimento resinoso durante a manipulação. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar o aspecto de uma bolha e matriz do cimento resinoso, caracterizada por uma superfície irregular e porosa.

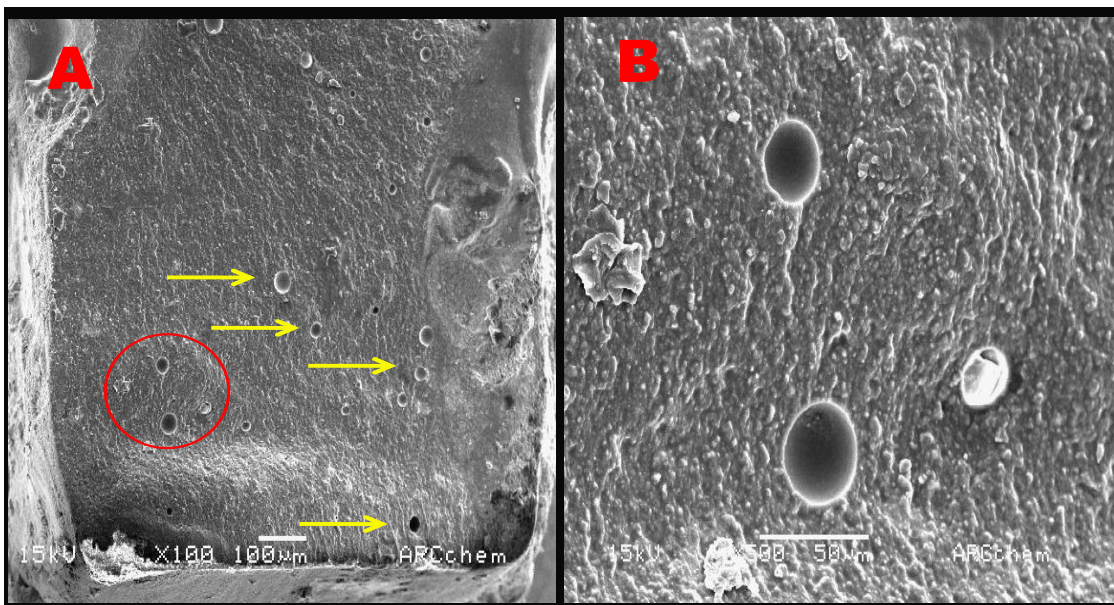


Figura 14 – Fotografias em MEV do cimento RelyX ARC, autopolimerizado (quimicamente), que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), observa-se grande presença de bolhas de ar (indicadas pelas setas amarelas) na matriz do cimento resinoso. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar a presença de uma bolha de ar maior e, uma matriz resinosa irregular, contendo porosidades.

A Figura 14 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento RelyX ARC, autopolimerizado, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, observa-se o grande quantidade de bolhas de ar, que foram incorporadas a matriz do cimento resinoso durante a manipulação. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar o aspecto de duas bolhas maiores e da matriz do cimento resinoso, caracterizada por uma superfície irregular e porosa. Além de partículas de carga soltas.

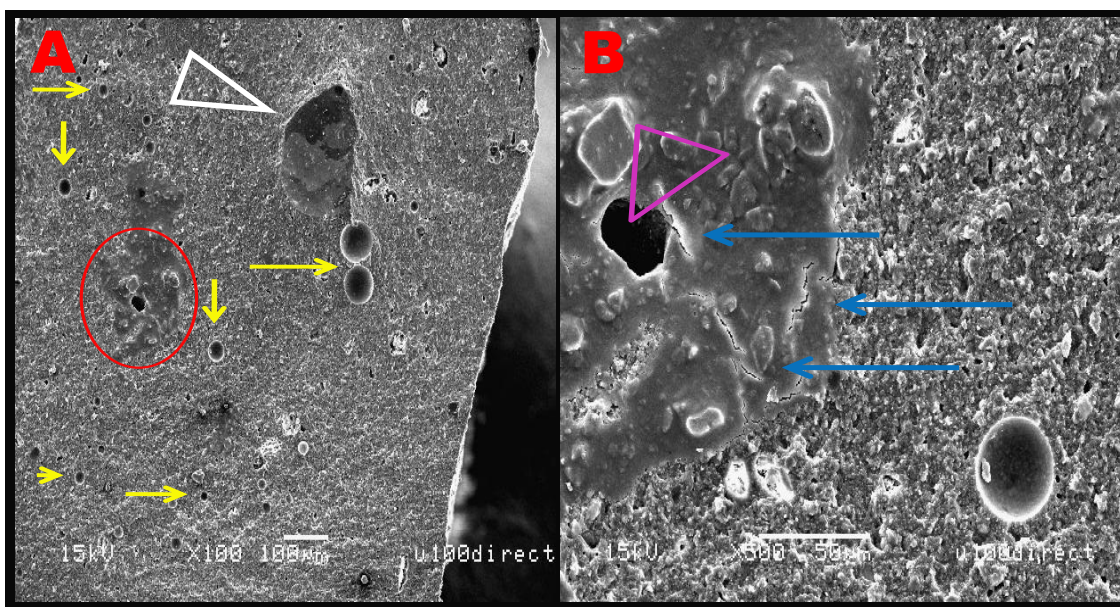


Figura 15 – Fotografias em MEV do cimento RelyX U100, fotoativado pelo método direto, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), observa-se a presença de bolhas de ar (indicadas pelas setas amarelas) na matriz do cimento resinoso. Além disso, verifica-se um defeito (indicado pelo triângulo branco). A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar a presença de uma bolha de ar maior, uma região mais escura contendo trincas (setas azuis) e espaço vazio (triângulo roxo), e uma matriz resinoso irregular com porosidades.

A Figura 15 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento RelyX U100, fotoativado pelo método direto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, observa-se o grande quantidade de bolhas de ar, que foram incorporadas a matriz do cimento resinoso durante a manipulação. Além disso, a imagem sugere um defeito caracterizado por polimerização incompleta decorrente da presença do oxigênio na matriz resinoso (triângulo branco). Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar o aspecto de uma bolha maior. Observa-se também, região escura característica do fundo de uma bolha grande, contendo fissuras (setas azuis), áreas mal polimerizadas e espaço vazio provocado pelo deslocamento de partícula de carga (triângulo roxo). A

matriz do cimento resinoso é caracterizada por uma superfície irregular, porosa e com áreas mal polimerizadas.

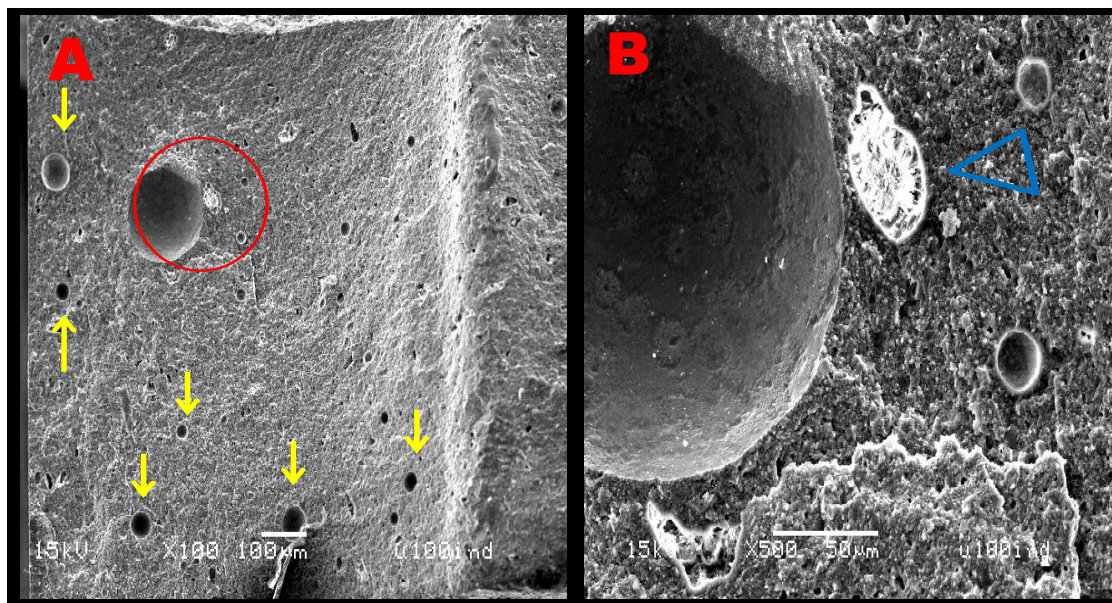


Figura 16 – Fotografias em MEV do cimento RelyX U100, fotoativado pelo método indireto, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), observa-se o grande quantidade de bolhas de ar (indicadas pelas setas amarelas) na matriz do cimento resinoso. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar o fundo de uma bolha maior. A imagem indicada pelo triângulo azul é característica de região mal polimerizada. Observa-se uma matriz resinosa irregular com porosidades.

A Figura 16 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento RelyX U100, fotoativado pelo método indireto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, observa-se o grande aprisionamento de bolhas de ar, que foram incorporadas a matriz do cimento resinoso durante a manipulação. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar região escura característica do fundo de uma bolha grande. A região indicada pelo triângulo azul representa uma área sugestiva de polimerização incompleta. A matriz do cimento resinoso é caracterizada por uma superfície irregular, porosa e com áreas mal polimerizadas.

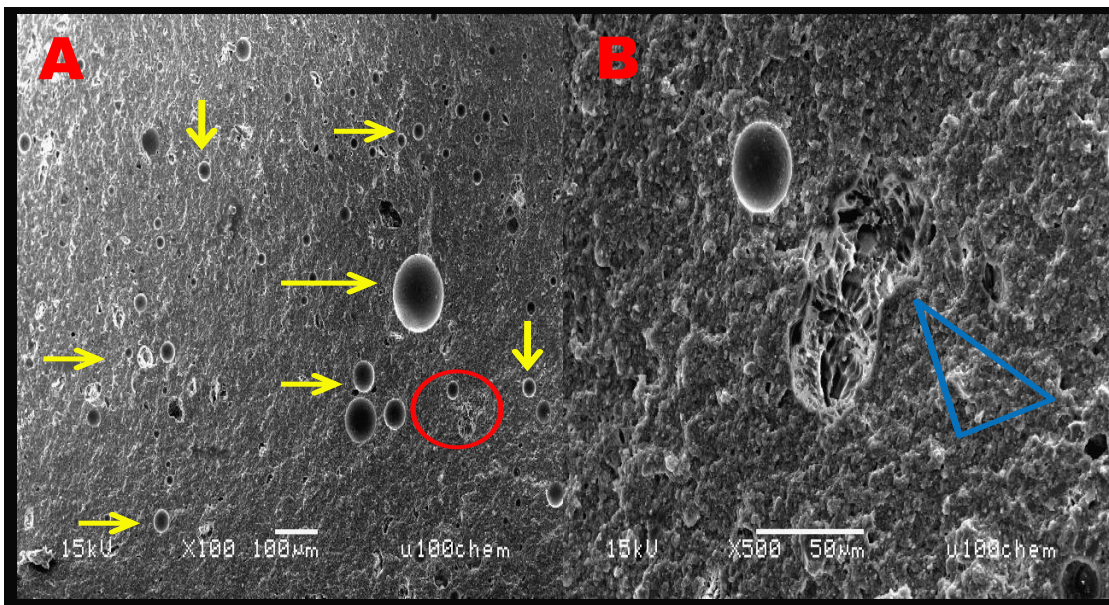


Figura 17 – Fotografias em MEV do cimento RelyX U100, autopolimerizado (quimicamente), que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), observa-se o grande aprisionamento de bolhas de ar (indicadas pelas setas amarelas) na matriz do cimento resinoso. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma bolha maior, uma imagem caracterizada por espaços vazios (triângulo azul) e matriz resinoso irregular com porosidades.

A Figura 17 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento RelyX U100, autopolimerizado, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, observa-se o grande aprisionamento de bolhas de ar, que foram incorporadas a matriz do cimento resinoso durante a manipulação. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento da região marcada com o círculo vermelho. Nesta imagem, é possível observar o aspecto morfológico da superfície fraturada do cimento resinoso mostrando uma matriz irregular, com porosidades. A região indicada pelo triângulo azul representa uma área sugestiva de polimerização incompleta, caracterizada por espaços vazios no interior do material.

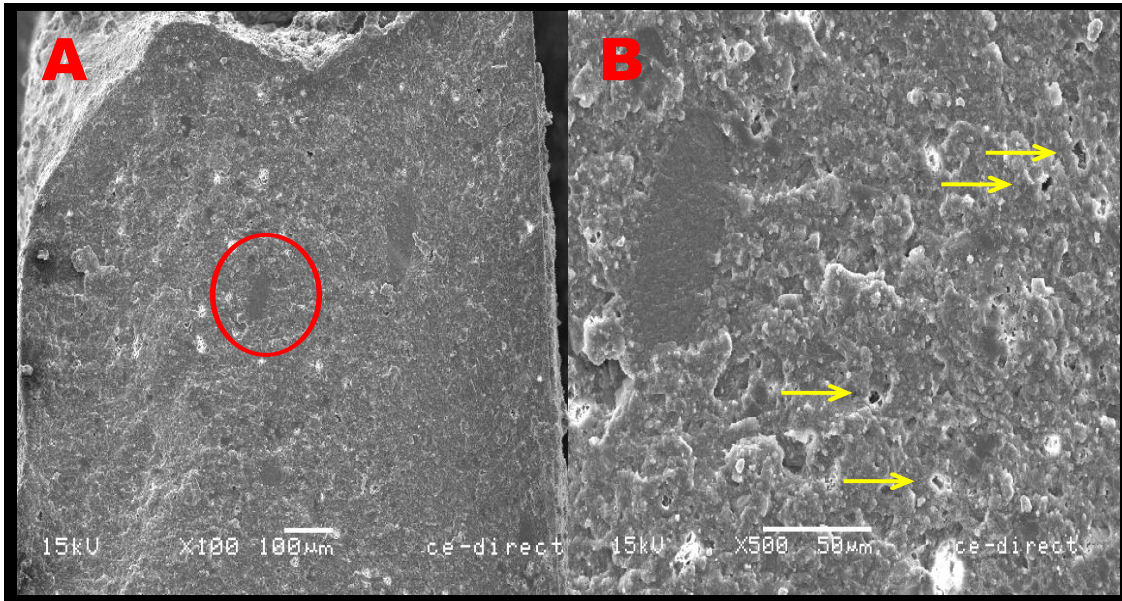


Figura 18 – Fotografias em MEV do cimento Clearfil Esthetic, fotoativado diretamente, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), é possível observar uma superfície mais coesa e sem bolhas de ar. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e com poucas e pequenas porosidades (setas amarelas).

A Figura 18 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento Clearfil Esthetic, fotoativado pelo método direto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, nota-se uma superfície mais coesa e sem aprisionamento de grandes bolhas de ar na matriz do cimento resinoso, devido ao dispositivo de auto-mistura presente no material. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e com poucas e pequenas porosidades.

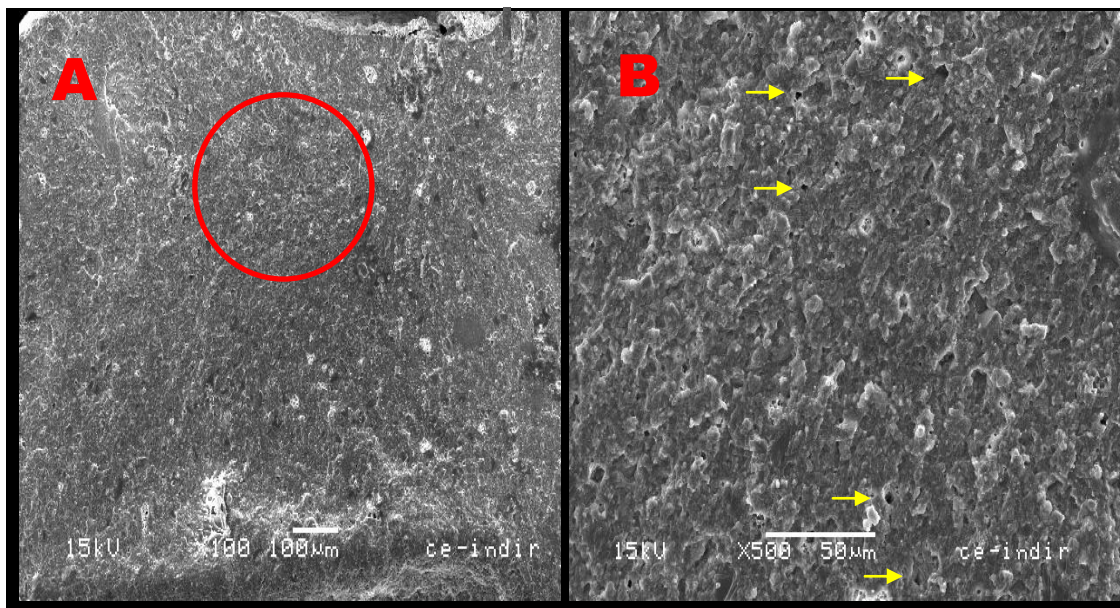


Figura 19 – Fotografias em MEV do cimento Clearfil Esthetic, fotoativado indiretamente, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), é possível observar superfície mais coesa. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e pequenas porosidades (setas amarelas).

A Figura 19 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento Clearfil Esthetic, fotoativado pelo método indireto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, nota-se superfície mais coesa e sem aprisionamento de grandes bolhas de ar na matriz do cimento resinoso, devido ao dispositivo de auto-mistura presente no material. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e com pequenas porosidades.

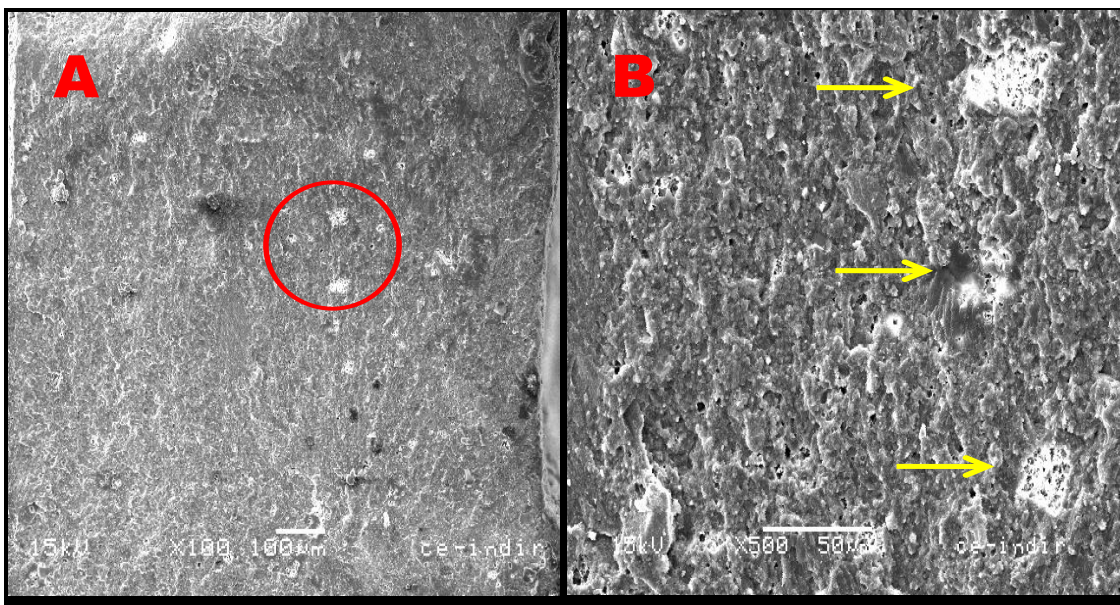


Figura 20 – Fotografias em MEV do cimento Clearfil Esthetic, autopolimerizado, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), é possível observar a ausência de bolhas de ar grandes. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e com pequenas porosidades. Além disso, observam-se áreas sugestivas de polimerização incompleta (setas amarelas).

A Figura 20 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento Clearfil Esthetic, autopolimerizado, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, nota-se a ausência de grandes bolhas de ar na matriz do cimento resinoso, devido ao dispositivo de auto-mistura presente no material. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar matriz resinosa densa, compacta e com pequenas porosidades. Além disso, observam-se áreas sugestivas de polimerização incompleta.

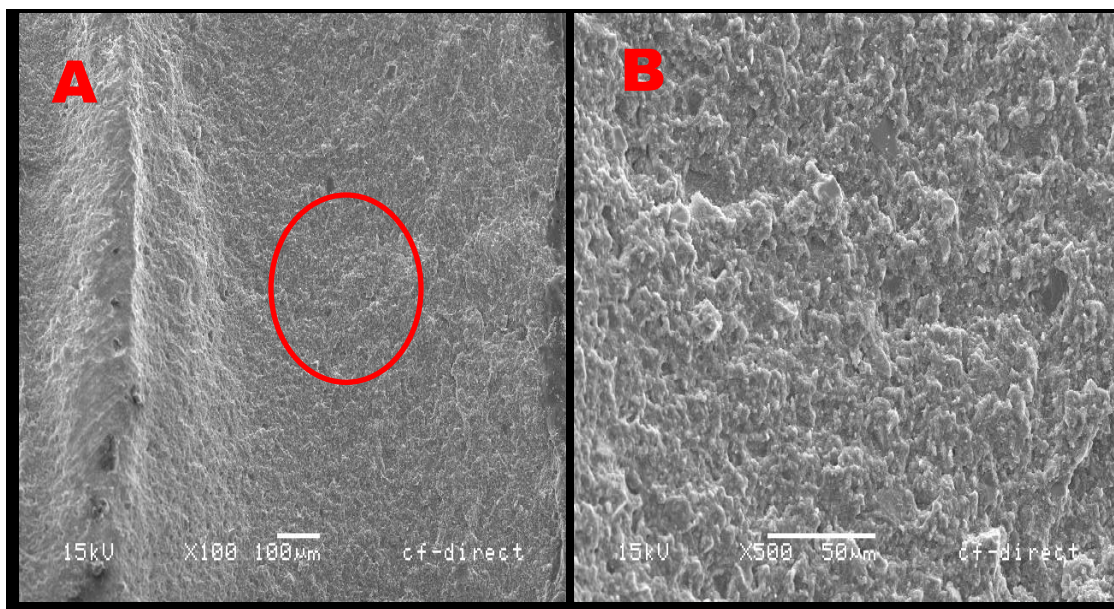


Figura 21 – Fotografias em MEV do cimento Clearfil SA, fotoativado diretamente, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), é possível observar a ausência de bolhas de ar, devido ao mecanismo de auto-mistura deste material. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e sem porosidades.

A Figura 21 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento Clearfil SA Cement, polimerizado pelo método direto, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, nota-se a ausência de grandes bolhas de ar na matriz do cimento resinoso, devido ao dispositivo de auto-mistura presente no material. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar matriz resinosa densa, compacta e sem porosidades.

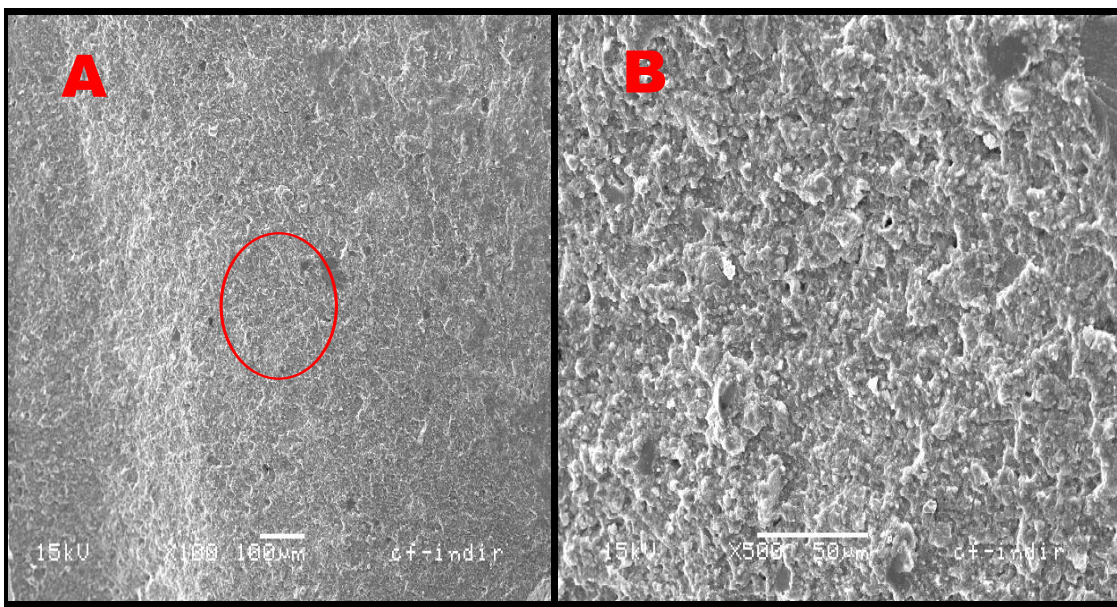


Figura 22 – Fotografias em MEV do cimento Clearfil SA Cement, fotoativado indiretamente, que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), é possível observar a ausência de bolhas de ar, devido ao mecanismo de auto-mistura deste material. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e sem porosidades.

A Figura 22 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento Clearfil SA Cement, polimerizado pelo método indireto, após o teste dos três pontos. Na figura **A**, nota-se a ausência de grandes bolhas de ar na matriz do cimento resinosa, devido ao dispositivo de auto-mistura presente no material. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar matriz resinosa densa, compacta e sem porosidades.

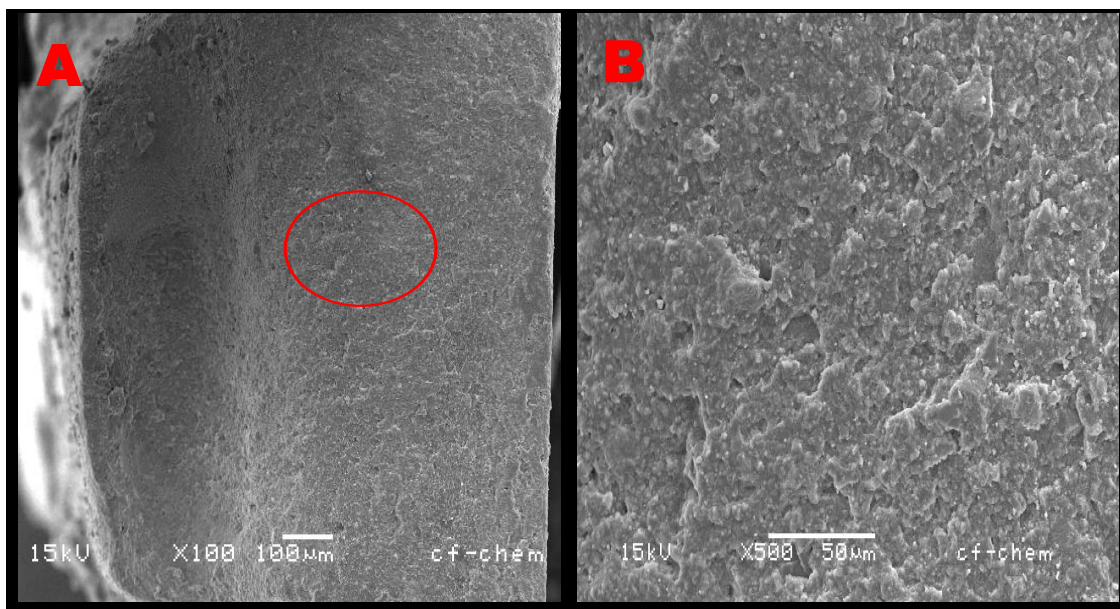


Figura 23 – Fotografias em MEV do cimento Clearfil SA autoploimerizado (quimicamente), que mostram os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes. Na fotografia **A** (100x de aumento), é possível observar a ausência de bolhas de ar, devido ao mecanismo de auto-mistura deste material. A fotografia **B** representa imagem de maior aumento (500x de aumento) da região marcada com o círculo vermelho, onde é possível observar uma matriz resinosa densa, compacta e sem porosidades.

A Figura 23 representa os aspectos morfológicos da superfície fraturada do espécime de cimento Clearfil SA Cement, autopolimerizado, após o teste dos três pontos. Na Figura **A**, nota-se a ausência de grandes bolhas de ar na matriz do cimento resinoso, devido ao dispositivo de auto-mistura presente no material. Em maior aumento (Figura **B**), é possível observar matriz resinosa densa, compacta e sem porosidades.

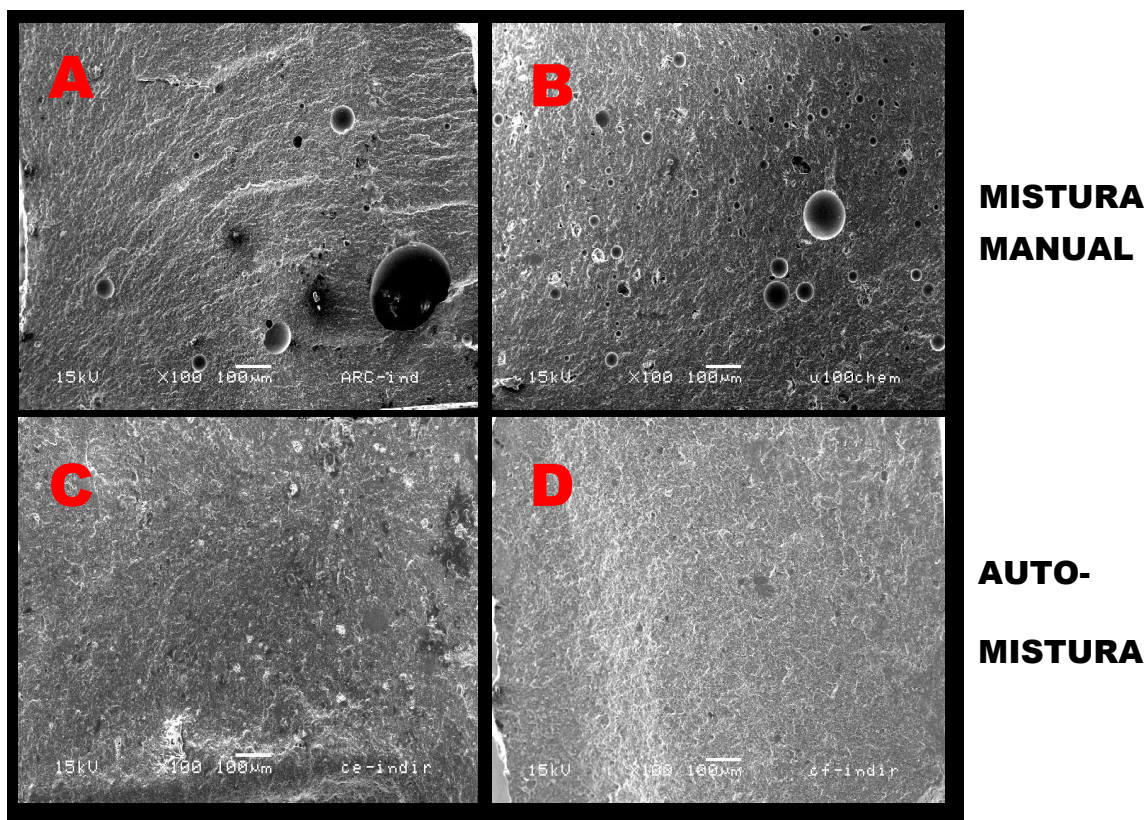


Figura 24 – Fotografias em MEV dos cimentos RelyX ARC (A), RelyX U100 (B), Clearfil Esthetic (C) e Clearfil SA (D) (100X de aumento). Quadro comparativo, apresentando os aspectos morfológicos da superfície fraturada dos espécimes, que mostra a diferença entre os cimentos de mistura manual e de auto-mistura.

Nas Figuras A e B, observa-se a presença de inúmeras bolhas que foram incorporadas na matriz do cimento resinoso durante a manipulação, enquanto que nas Figuras C e D, não há presença de bolhas, devido ao dispositivo de auto-mistura presente nestes cimentos.

6. Discussão

Os materiais restauradores indiretos necessitam ser fixados à estrutura dental por meio de agentes de cimentação. Dentre os agentes de cimentação disponíveis atualmente, os cimentos resinosos podem ser considerados como opções, devido as suas propriedades físicas. O Mecanismo de polimerização física e química são comumente encontrados em formulações comerciais atuais. Porém, existem diversas situações clínicas onde não é possível usar a fotoativação. São nestes casos, que o processo de polimerização química é necessário para que uma conversão mínima seja assegurada.

Neste estudo, os métodos de polimerização física (fotoativação) para os cimentos resinosos duais produziram diferentes valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade, com diferença estatisticamente significativa e superior quando comparados ao método de polimerização química (sem a presença de luz). Este resultado está de acordo com outros estudos que relatam que a influência do método de polimerização é dependente do material, e o modo de polimerização física no cimento dual produz maior resistência à flexão do que o modo de polimerização química. (Hofman *et al*, 2001; Braga *et al*, 2002; Sharp, *et al.*, 2005). Além dos cimentos de polimerização química apresentarem menores propriedades mecânicas, alguns materiais não apresentam capacidade de polimerização química suficiente, dependendo significativamente da luz (Pegoraro, 2010). Neste estudo, os resultados revelaram diferença significativa entre o método de fotoativação direta e o método químico. Os cimentos resinosos RelyX

ARC e U100 apresentaram redução de 48% nos valores médios de resistência à flexão e módulo de elasticidade. Os cimentos Clearfil Esthetic e Clearfil SA Cement apresentaram redução de 41 e 42% nos valores médios de resistência à flexão e módulo de elasticidade, respectivamente.

Os espécimes de polimerização dual possuem melhores propriedades mecânicas devido aos dois sistemas de iniciação (químico e físico). Provavelmente, a diminuição dos valores das propriedades mecânicas dos cimentos resinosos polimerizados quimicamente, ativados pelo sistema redox iniciador-ativador, também pode estar relacionada com a menor concentração de iniciador e ativador que o fabricante estabelece para estender o tempo de trabalho do cimento resinoso durante o procedimento clínico (Rueggeberg & Caughman, 1993). Os fabricantes determinam a quantidade dos componentes de auto e fotoativação de cada cimento resinoso dual. Como a quantidade entre os componentes de auto e fotoativação varia entre os produtos, os agentes resinosos duais exibem diferentes características de polimerização, como grau de conversão e taxa máxima de polimerização. Tanto a resistência à flexão quanto o módulo de elasticidade aumentam com o aumento do grau de conversão do material (Pace, 2007). O baixo grau de conversão exibido pelos cimentos resinosos polimerizados quimicamente, imediatamente após a manipulação do material, pode ser atribuído a baixa taxa de polimerização, bem como a morosidade da reação de polimerização (Cook, *et al.*, 1983). Para os materiais do método químico analisados em MEV, pode-se observar uma matriz resinosa porosa caracterizada

pela presença de espaços vazios, irregularidades e locais mal polimerizados (Figuras 14, 17 e 20). Provavelmente, esta característica deve estar relacionada ao baixo grau de conversão do cimento polimerizado quimicamente, causando defeitos e falhas e interferindo na resistência à flexão e módulo de elasticidade de alguns espécimes. Por outro lado, para os cimentos resinosos fotoativados, utilizados neste estudo, foi possível verificar uma matriz resinosa compacta apresentando aspecto morfológico mais regular (Figuras 12, 13, 18, 19, 21 e 22), e, conseqüentemente, maior resistência à flexão.

Alguns pesquisadores relataram que as propriedades mecânicas dos materiais a base de resina composta não está necessariamente relacionado com o grau de conversão (Kumbologlu, *et al.*, 2004). O conteúdo das partículas de carga (Chung & Greener, 1990) e o tipo de monômero (Asmussem & Peutzfeldt, 1998) também influenciam suas propriedades mecânicas. A idéia de que os materiais resinosos disponíveis no mercado, possuindo composições diferentes, comportam-se de maneira distinta é correta. Os resultados de resistência à flexão e módulo de elasticidade deste estudo confirmam este fato, uma vez que, os valores médios de materiais com composição química semelhante não obtiveram diferença estatística durante os testes realizados. O cimento RelyX ARC e o cimento auto-adesivo Clearfil SA Cement não indicaram diferença estatística entre si em todos os métodos de ativação. Tal fato pode ser explicado pela semelhança na composição química destes materiais com presença dos monômeros Bis-GMA, TEGDMA e de partículas de sílica nestes. Para o RelyX ARC a proporção de

partículas inorgânicas é de aproximadamente 67,5% em peso e a média do tamanho das partículas de carga é de cerca de 1,5 μm (3M ESPE). A quantidade total de partículas inorgânicas do cimento Clearfil SA Cement é de aproximadamente 66% em peso, sendo a média do tamanho das partículas 2,5 μm (Informações do fabricante).

Ao contrário das resinas compostas fotoativadas, os agentes de cimentação resinosos, não podem depender exclusivamente da fotoativação para alcançar o máximo de suas propriedades mecânicas, devido ao fato da intensidade de luz que atinge a camada de cimento ser atenuada, ou totalmente eliminada, devido à distância entre a camada do agente de cimentação e a fonte de luz ou pelas características de absorção dos materiais restauradores indiretos sobrejacentes (Blackman R, *et al.*, 1990 e Arrais CA, *et al.*, 2008).

As propriedades mecânicas dos agentes de cimentação à base de resina composta têm sido avaliadas, com fotoativação através de anteparos de cerâmica ou resina composta indireta, para tornar as condições da pesquisa o mais próximo da prática clínica. Para o método indireto de fotoativação com anteparo de resina composta de 2,0 mm, os cimentos RelyX ARC e Clearfil SA Cement apresentaram valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade significativamente menores quando comparados ao método direto de fotoativação. Este resultado confirma estudos onde as propriedades mecânicas dos compósitos polimerizados com anteparo de resina composta sobrejacente foram menores (Ruggerberg, *et al.*, 1988, Arrais, *et al.*, 2009). As diferenças nos valores das propriedades

mecânicas foram decorrentes das variações de intensidade de luz. Em contraposição, os materiais Clearfil Esthetic Cement e RelyX U100 não apresentam diferença significativa quando polimerizados com anteparo de resina composta, comparados com método de polimerização direta. Isso demonstra que para alguns materiais, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade são menos dependentes do método de ativação após o início da formação da cadeia de polímeros (Ferracane JL, *et al.*, 1986). Alguns materiais possuem uma polimerização rápida quando expostos à luz. Isto pode ser atribuído a um alto conteúdo de fotoiniciadores nestes cimentos resinosos, dentro do limite estipulado pelo fabricante. Esta polimerização rápida pode explicar a alta sensibilidade à exposição à luz, mesmo quando a luz é atenuada pela presença de restaurações de cerâmica ou de resina composta indireta. Assim, é razoável esperar que tais cimentos resinosos de polimerização dual possuam melhores propriedades mecânicas e grau de conversão, mesmo quando a intensidade da luz é atenuada. Yoshida *et al.*, 2007 também relata que não houve redução estatisticamente significativa nos valores de resistência à flexão do cimento Clearfil Esthetic Cement irradiado através de restaurações de cerâmicas de diferentes espessuras.

Os cimentos convencionais RelyX ARC e Clearfil Esthetic Cement apresentaram valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade significativamente maiores estatisticamente quando comparados ao cimento auto-adesivo RelyX U100, com exceção do método indireto onde o cimento resinoso RelyX ARC e o RelyX U100 foram semelhantes estatisticamente. Este resultado

confirma outros estudos que demonstraram que cimentos convencionais apresentam valores de propriedades mecânicas com diferenças estatísticas superiores quando comparados aos cimentos auto-adesivos (Tezvergil-Mutluay, 2007; Ulrich Lohbauer, *et al.*, 2010). Além disso, mostrou que o RelyX Unicem obteve o menor grau de conversão quando polimerizado quimicamente. O baixo grau de conversão do RelyX Unicem foi atribuído a grande quantidade de partículas de carga de aproximadamente 72% em volume (3M ESPE) (Tezvergil-Mutluay, 2007). Os cimentos auto-adesivos RelyX U100 e RelyX Unicem foram desenvolvidos pelo mesmo fabricante e são comercializados sob o mesmo nome em alguns países. Segundo o fabricante, a única diferença entre estes produtos é o sistema de manipulação e aplicação do material. Os cimentos resinosos auto-adesivos apresentam propriedades diferentes e ainda não podem ser considerados um grupo homogêneo (Egle Saskalauskaite, *et al.*, 2006). Há uma tendência para que esses cimentos auto-adesivos tenham resistência à flexão semelhante aos cimentos resinosos convencionais, como verificado nesta pesquisa, onde o cimento resinoso convencional RelyX ARC não revelou diferença estatística significativa quando comparado ao cimento auto-adesivo Clearfil SA Cement.

Quando comparado com os outros cimentos utilizados neste estudo, o cimento Clearfil Esthetic Cement apresentou os melhores resultados para resistência a flexão e módulo de elasticidade em todos os métodos de polimerização realizados. A quantidade de partículas inorgânicas de 70% em peso

e o tipo de partículas, vidro de bário silanizado, sílica coloidal e sílica silanizada com tamanho de aproximadamente 2,0µm são os prováveis fatores que influenciaram nos altos valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade do Clearfil Esthetic Cement. O módulo de elasticidade do material deve ser o mais próximo possível do da dentina que possui aproximadamente 18,6 GPa (Smith e Cooper, 1971). Todos os cimentos resinosos avaliados apresentaram alto valor de módulo de elasticidade, entretanto, o cimento Clearfil Esthetic Cement foi o material que apresentou o módulo de elasticidade mais próximo ao da dentina. Esta característica quando associada à cimentação adesiva possibilita um comportamento homogêneo entre dentina e o cimento, permitindo que o cimento absorva as forças de compressão e se deforme.

Algumas situações devem ser ponderadas para explicar a redução do valor da resistência à flexão e módulo de elasticidade para os cimentos resinosos RelyX ARC e RelyX U100 como o aprisionamento de bolhas de ar no meio da massa devido ao ato de mistura manual das duas pastas (Figuras 12,13, 14, 15, 16 e 17). Embora essas bolhas de ar possam reduzir a tensão gerada pela contração de polimerização (Alster, *et al.*, 1992) também podem funcionar como meio para elevar a tensão durante os esforços de tração e compressão que é responsável pela geração e propagação de trincas, pela degradação do cimento (Pegoraro, *et al.*, 2007) e conseqüentemente falha da restauração indireta. A redução de bolhas no material auto-misturável proporciona qualidade ao cimento resinoso

influenciando significativamente nas propriedades mecânicas e no sucesso clínico da restauração.

Dessa forma, os resultados deste estudo mostraram que os cimentos resinosos duais avaliados através dos diferentes métodos de polimerização apresentaram resistência à flexão e módulo de elasticidade diferentes entre si, rejeitando a hipótese proposta. No entanto, mostrou também que dependendo do cimento resinoso é possível efetuar a polimerização através da restauração assentada (método indireto) e não reduzir a resistência à flexão do cimento resinoso, conforme os protocolos clínicos praticados.

7. Conclusão

A partir dos resultados baseados na Análise Estatística, pode-se concluir:

1. A variação da resistência à flexão e do módulo de elasticidade foi material dependente.
2. A fotoativação aumentou significativamente a resistência à flexão e o módulo de elasticidade de todos os materiais avaliados.
3. A utilização do anteparo de resina composta não promoveu redução da resistência à flexão e módulo de elasticidade dos materiais Clearfil Esthetic Cement e RelyX U100. No entanto, a atenuação da luz foi responsável pela redução dos valores nos demais materiais.
4. Cimentos resinosos convencionais apresentaram valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade estatisticamente superiores quando comparados aos cimentos auto-adesivos, exceto para os cimentos resinosos RelyX ARC e Clearfil SA Cement que não apresentaram diferença estatística.
5. Os cimentos auto-adesivos avaliados apresentaram comportamento mecânico (resistência à flexão e módulo de elasticidade), cujos valores não diferiram entre si.

Referências*

3M ESPE. Technical data sheet

Antunes ANG. Efeito do tratamento de superfície e armazenamento na resistência da união entre resina composta indireta e cimento auto-adesivo [tese]. Piracicaba: UNICAMP/FOP; 2007.

Anusavice KJ. Materiais dentários. 11ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2005.

Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. Scand J Dent Res. 1982; 90(6): 490-6.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. Dent Mater. 1998; 14(1): 51-6.

Asmussen E, Peutzfeldt A. Bonding of dual-curing resin cements to dentin. J Adhes Dent. 2006; 8(5): 299-304.

Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA, Pashley DH. Microtensile bond strength of dual-polymerizing cementing systems to dentin using different polymerizing modes. J Prosthet Dent. 2007; 97: 99–106.

Arrais CA, Rueggeberg FA, Waller JL, de Goes MF, Giannini M. Effect of curing mode on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems. J Dent. 2008; 36: 418-26.

Arrais CA, Miyake K, Rueggeberg FA, Pashley DH, Giannini M. Micromorphology of resin/dentin interfaces using 4th and 5th generation dual-curing adhesive/cement systems: a confocal laser scanning microscope analysis. J Adhes Dent. 2009; 11(1): 15-26.

Attar N, Tam LE, McComb D. Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. J Prosthet Dent. 2003; 89(2): 127-34.

Blackman R, Barghi N, Duke E. Influence of ceramic thickness on the polymerization of light-cured resin cement. J Prosthet Dent. 1990; 63: 295-300.

Bouschlicher MR, Rueggeberg FA. Effect of ramped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. J Esthet Dent. 2000;12(6): 328-39.

*De acordo com a norma da UNICAMP/FOP baseado na norma do International Committee of Medical Journal Editors-Grupo Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. J Oral Rehabil. 2002; 29(3): 257-62.

Burke FJ. The effect of variations in bonding procedure on fracture resistance of dentin-bonded all-ceramic crowns. Quintessence Int. 1995; 26: 293-300.

Burke, FJ. Trends in indirect dentistry: 3. Luting materials. Dent Update. 2005; 32(5): 251-4, 7-8, 60.

Burrow MF, Nikaido T, Satoh M, Tagami J. Early bonding of resin cements to dentin effect of bonding environment. Oper Dent. 1996; 21(5): 196-202.

Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Degree of conversion and mechanical properties of a BisGMA:TEGDMA composite as a function of the applied radiant exposure. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2008; 84: 503-9.

Carvalho RM, Pegoraro TA, Tay FR, Pegoraro LF, Silva NR, Pashley DH. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentine. J Dent. 2004a; 32(1): 55-65.

Caughman WF, Chan DC, Rueggeberg FA. Curing potential of dual polymerizable resin cements in simulated clinical situations. J Prosthet Dent. 2001; 86:101-6.

Chung KH, Greener EH. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. J Oral Rehabil. 1990; 17(5): 487-94.

Craig RG, Farah JW. Stress analysis and design of single restorations and fixed bridges. Oral Sci Rev. 1977; 10: 45-74.

Cook WD, Standish PM. Polymerization kinetics of resin-based restorative materials. J Biomed Mater Res. 1983; 17: 275-82.

Christensen GJ. The rise of resin for cementing restorations. J Am Dent Assoc. 1993; 124(10): 104-5.

Darr AH, Jacobsen PH. Conversion of dual cure luting cements. J Oral Rehabil. 1995 Jan;22(1):43-7

De Goes MF. Cimentos resinosos. *In*: Baratieri LN & Chain M. Restaurações estéticas com resina composta em dentes posteriores. São Paulo: Artes Médicas, 1998. v.12. p.169-76.

De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater. 2004; 20(10): 963-71.

Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. J Prosthet Dent. 1999; 81(2):135-41.

El-Badrawy WA, El-Mowafy OM. Chemical versus dual curing of resin inlay cements. J Prosthet Dent. 1995; 73(6): 515-24.

El-Mowafy OM, Rubo MH, el-Badrawy WA. Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay. Oper Dent. 1999; 24(1): 38-44.

Emami N, So"derholm K-JM. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured composites. Eur J Oral Sci 2003; 111: 536–542.

Emami N, So"derholm K-JM, Berglund LA. Effect of light power density variations on bulk curing of dental composites. J Dent 2003; 31: 189–196.

Ferracane, J.L. & Grenner, E.H. (1986) The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. J Biomed Mater Res. 1986; 20(1): 121-31.

Ferracane JL, Condon JR. Rate of elution of leachable components from composite. Dent Mater. 1990; 6(4): 282-7.

Ferracane JL, Marker VA. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. J Dent Res. 1992; 71: 13-19.

Ferracane JL, Hopkin JK, Condon JR. Properties of heat-treated composites after aging in water. Dent Mater. 1995 Nov; 11(6): 354-8.

Ferracane JL, Berge HX. Fracture toughness of experimental dental composites aged in ethanol. J Dent Res. 1995 Jul; 74(7): 1418-23.

Fong H, Dickens SH, Flaim GM. Evaluation of dental restorative composites containing polyhedral oligomeric silsesquioxane methacrylate. Dent Mater 2005; 21: 520-9.

Gerth HU, Dammaschke T, Zuchner H, Schafer E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study. Dent Mater. 2006; 22(10): 934-41.

Halvorson RH, Erickson RL, Davidson CL. The effect of filler and silane content on conversion of resin-based composite. Dent Mater 2003; 19: 327_33.

Hasegawa EA, Boyer DB, Chan DC. Hardening of dual-cured cements using composite resin inlays. J Prosthet Dent. 1991; 66(2): 187-92.

Hersek NE, Canay S. *In vivo* solubility of three types of luting cement. Quintessence Int. 1996; 27: 211-216.

Hill EE. Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations. Dent Clin North Am. 2007 Jul; 51(3):643-58.

Hofmann N, Papsthart G, Hugo B, Klaiber B. Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness. J Oral Rehabil. 2001;28:1022-8.

Jacobsen PH, Rees JS. Luting agents for ceramic and polymeric inlays an onlays. Int Dent J. 1992;42:145-9.

Jung H, Friedl KH, Hiller KA, Haller A, Schmalz G. Curing efficiency of different polymerization methods through ceramic restorations. Clin Oral Investig. 2001;5:156-61.

Kanchanasavita W, Anstice HM, Pearson GJ. Water sorption characteristics of resin-modified glassionomer cements. Biomaterials. 1997; 18: 343-349.

Koch A, Kroeger M, Hartung M, Manetsberger I, Hiller KA, Schmalz G, et al. Influence of ceramic translucency on curing efficacy of different light-curing units. J Adhes Dent. 2007; 9: 449-62.

Koupis NS, Vercruysse CW, Marks LA, Martens LC, Verbeeck RM. Curing depth of (polyacid-modified) composite resins determined by scraping and a penetrometer. Dent Mater. 2004; 20(10): 908-14.

Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. Int J Prosthodont. 2004; 17(3): 357-63.

Li ZC, White SN. Mechanical properties of dental luting cements. J Prosthet Dent. 1999; 81(5):597-609.

Lim TS, Chern JL, Otsuka K. Higher-order photon statistics of single-mode laser diodes and microchip solid-state lasers. Opt Lett. 2002; 27(24):2197-9.

Lopes LG, Franco EB, Pereira JC, Mondelli RF. Effect of light-curing units and activation mode on polymerization shrinkage and shrinkage stress of composite resins. J Appl Oral Sci. 2008; 16(1): 35-42.

Lovell LG, Lu H, Elliott JE, Stansbury JW, Bowman CN. The effect of cure rate on the mechanical properties of dental composites. Dent Mater. 2001; 17: 504-11.

Lu H, Mehmood A, Chow A, Powers JM. Influence of polymerization mode on flexural properties of esthetic resin luting agents. J Prosthet Dent. 2005; 94(6): 549-54.

Meng X, Yoshida K, Atsuta M: Hardness development of dual-cured resin cements through different thicknesses of ceramics. *Dent Mater J.* 2006;25:132-137.

Meşe A, Burrow MF, Tyas MJ. Sorption and solubility of luting cements in different solutions. *Dent Mater J.* 2008; 27(5): 702-9.

Milleding P. Microleakage of indirect composite inlays. An in vitro comparison with the direct technique. *Acta Odontol Scand.* 1992; 50(5): 295-301.

Moraes RR, Correr-Sobrinho L, Sinhorette MA, Puppim-Rontani RM, Ogliari FA, Piva E. Light-activation of resin cement through ceramic: relationship between irradiance intensity and bond strength to dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008; 85(1):160-5.

Moraes RR, Brandt WC, Naves LZ, Correr-Sobrinho L, Piva E. Light- and time-dependent polymerization of dual-cured resin luting agent beneath ceramic. *Acta Odontol Scand.* 2008; 66(5): 257-61.

Nakamura T., Wakabayashi K., Kinuta S., Nishida H., Miyamae M., Yatani H. Mechanical properties of new self-adhesive resin-based cement. *Journal of Prosthodontic Research.* 54 (2010) 59–64

Nicholls JI. Part I. The effect of convergence angle variation on the computed stresses in the luting agent. *J Prosthet Dent.* 1974; 31: 651-57.

Oilo G, Espevik S. Compressive strength and deformation of dental cements. *Nor Tannlaegeforen Tid.* 1978; 88(11): 500-3.

Oilo G. Adhesive bonding of dental luting cements; influence of surface treatments. *Acta Odontol Stand.* 1978; 36: 263-70.

Oilo G. Extent of slits at the interface between luting cements and enamel dentin and alloy. *Acta Odontol Stand.* 1978; 36: 257-61.

Pace LL, Hummel SK, Marker VA, Bolouri A. Comparison of the flexural strength of five adhesive resin cements. *J Prosthodont.* 2007;16(1):18-24.

Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am.* 2007; 51(2): 453-71.

Pegoraro TA. Efeito do protocolo de ativação da polimerização e envelhecimento acelerado em algumas propriedades de cimentos resinosos [tese]. Bauru: USP/FOB; 2010

Peutzfeldt A. Dual-cure resin cements: in vitro wear and effect of quantity of remaining double bonds, filler volume, and light curing. *Acta Odontol Scand* 1995; 53: 29-34.

Peutzfeldt A. Indirect resin and ceramic systems. *Oper. Dent.* 2001; Suplement. (6): 153-76.

Prinsloo LC, van der Vyver PJ, Ferreira MR, Heyns AM. Percentage cure of cement cured through various thicknesses of Cerec porcelain. *J Dent Assoc S Afr.* 1997; 52(5): 283-6.

Rasetto FH, Driscoll CF, Prestipino V, Masri R, Von Fraunhofer JA. Light transmission through all-ceramic dental materials: A pilot study. *J Prosthet Dent.* 2004; 91: 441–446.

Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent.* 1998; 80(3): 280-301.

Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res.* 1988; 67(6): 932-7.

Rueggeberg FA, Caughman WF. The influence of light exposure on polymerization of dualcure resin cements. *Oper Dent.* 1993; 18: 48- 55.

Salz U, Duarte Jr S, Zimmermann J, Lopes MM, Perdigão J. Bond strengths of self-cured, self-etching resin cements. *In: IADR/AADR/CADR, 82nd. March, 2004. Hawaii, [Abstract 3179].*

Saskalauskaite E., Tam L., McComb D. Flexural Strength, Elastic Modulus, and pH Profile of Self-etch Resin Luting Cements. J Prosthodont 17 (2008) 262–268.

Sharp LJ, Yin R, Kang, WH, Suh BI. Comparison of curing of resin cements. *In*: IADR/AADR/CADR, 83nd. March, 2005. Baltimore, [Abstract 60685].

Smisson DC, Diefenderfer KE, Strother JM. Effects of five thermal stressing regimens on the flexural and bond strengths of a hybrid resin composite. Oper Dent. 2005; 30: 297-303.

Schneider LF, Moraes RR, Cavalcante LM, Sinhoreti MA, Correr-Sobrinho L, Consani S. Cross-link density evaluation through softening tests: effect of ethanol concentration. Dent Mater. 2008; 24: 199_203.

Stewart GP, Jain P, Hodges J. Shear bond strength of resin cements to both ceramic and dentin. J Prosthet Dent. 2002; 88(3): 277-84.

Tezvergil-mutluay A, Lippo VJ, Lassila LV, Vallittu PK. Degree of conversion of dual-cure luting resins light-polymerized through various materials. Acta Odontol Scand. 2007; 65(4): 201-5.

Touati B, Aidan N. Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. J Esthet Dent. 1997; 9(3): 108-18.

UCTASLI, S., HASANREISOGLU, U. & WILSON, H.J. (1994) The attenuation of radiation by porcelain and its effect on polymerization of resin cements. Journal of Oral Rehabilitation, 21, 565.

Van Meerbeek *et al.* Adhesives and cements to promote preservation dentistry. Oper Dent. 2001; Supplement. (6): 119-44.

Viotti RG, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais CA, Reis AF. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. J Prosthet Dent. 2009; 102(5): 306-12.

Watts, D.C. (1994) Elastic moduli and visco-elastic relaxation. Journal of Dentistry, 22, 154.

Watts, D.C., Cash, A.J., Chauhan, J. & Rathore, S. (1994) Variables influencing hardness development in dual-cure composite luting materials. *Journal of Dental Research*, 73, 801 (Abstract no. 115).

White SN, Yu Z. Compressive and diametral tensile strengths of current adhesive luting agents. *J Prosthet Dent*. 1993; 69(6): 568-72.

Witzel MF, Braga RR, Singer Jde M, Azevedo CL. Bond strength between polymer resin-based cement and porcelain-dentin surfaces: influence of polymerization mode and early cyclic loading. *Int J Prosthodont*. 2003; 16: 145-9.

Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater*. 2006; 22(1): 45-56.

Yettram AK, Wright KW, Pickard HM. Finite element stress analysis of the crowns of normal and restored teeth. *J Dent Res*. 1976; 55: 1004-11.

Yoshida, Y, Van Meerbeek, B, Nakayama, Y, Snauwaert, J, Hellemans, L, Lambrechts, P, *et al*. Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissue interfaces. *J Dent Res*. 2000; 79(2): 709-14.

Yoshida K., Tsuo Y., Meng X., Atsuta M.. Mechanical Properties of Dual-Cured Resin Luting Agents for Ceramic Restoration. *J Prosthodont*. 2007; 16: 370-376.